

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-077723

(43)Date of publication of application : 14.03.2003

(51)Int.Cl. H01F 10/16
C25D 5/18
C25D 7/06
G01R 33/09
G11B 5/31
H01F 41/26
H01L 43/02
H01L 43/08

(21)Application number : 2001-271140

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 07.09.2001

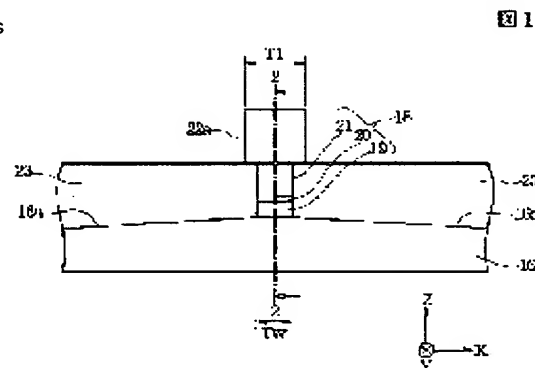
(72)Inventor : YAZAWA HISAYUKI
KANEDA YOSHIHIRO

(54) SOFT MAGNETIC FILM, METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME THIN FILM MAGNETIC HEAD USING THE SAME AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a soft magnetic film which is intended to raise a saturated flux density B_s and decrease a coercive force H_c ; a thin film magnetic head using the soft magnetic film; a method for manufacturing the soft magnetic film; and a method for manufacturing the thin film magnetic head.

SOLUTION: A fluctuation region is provided in at least part of the region so that a composition ratio of Fe fluctuates in a film thickness direction, and a soft magnetic film is that a difference in the Fe composition ratio between a maximum part of the Fe composition ratio and a minimum part of the Fe composition ratio is 4 mass % or more, and an upper magnetic pole layer 21 and/or a lower magnetic pole layer 19 are formed of the soft magnetic film. Thus, it is possible to raise a saturated flux density B_s and decrease a coercive force H_c by fining a crystal particle size. It becomes possible to manufacture a thin film magnetic head excellent in high record density.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

28.02.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-77723
(P2003-77723A)

(43) 公開日 平成15年3月14日 (2003.3.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード* (参考)
H 0 1 F 10/16		H 0 1 F 10/16	2 G 0 1 7
C 2 5 D 5/18		C 2 5 D 5/18	4 K 0 2 4
	7/06		K 5 D 0 3 3
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/31	C 5 E 0 4 9
G 1 1 B 5/31			D

審査請求 未請求 請求項の数37 O L (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-271140 (P2001-271140)

(22) 出願日 平成13年9月7日 (2001.9.7)

(71) 出願人 000010098

アルプス電気株式会社
東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 矢澤 久幸

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(72) 発明者 金田 吉弘

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74) 代理人 100085453

弁理士 野▲崎▼ 照夫

最終頁に続く

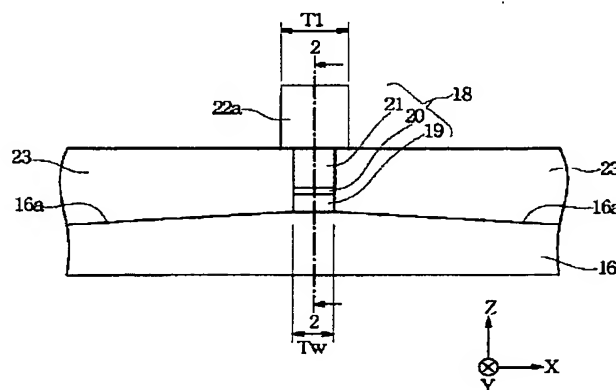
(54) 【発明の名称】 軟磁性膜と前記軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド、および前記軟磁性膜の製造方法と前記薄膜磁気ヘッドの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 飽和磁束密度 B_s の向上と保磁力 H_c の低減を図ることが可能な軟磁性膜と前記軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド、および前記軟磁性膜の製造方法と前記薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供する。

【解決手段】 上部磁極層21及び／または下部磁極層19を、少なくとも一部の領域に、Feの組成比が膜厚方向に変動する変動領域が設けられ、前記変動領域では、Fe組成比が最も多い部分とFe組成比が最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上である軟磁性膜で形成する。これにより飽和磁束密度 B_s の向上とともに結晶粒径の微細化により保磁力 H_c を低減させることができ、高記録密度化に優れた薄膜磁気ヘッドを製造することが可能になる。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】 Feと前記Fe以外の磁性元素を含有する軟磁性膜において、少なくとも一部の領域には、Feの組成比が膜厚方向に変動する変動領域が設けられており、前記変動領域では、Fe組成比が最も多い部分とFe組成比が最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上であることを特徴とする軟磁性膜。

【請求項2】 前記Fe組成比の差は6質量%以上である請求項1記載の軟磁性膜。

【請求項3】 前記Fe組成比の差は8質量%以上である請求項1記載の軟磁性膜。

【請求項4】 前記Fe組成比の差は10質量%以上である請求項1記載の軟磁性膜。

【請求項5】 少なくとも一部の前記Fe組成比は膜厚方向に周期的に変動し、一周期の長さは10nm以上で150nm以下である請求項1ないし4のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項6】 前記一周期の長さは100nm以下である請求項5記載の軟磁性膜。

【請求項7】 透過電子顕微鏡で観測したとき、前記軟磁性膜は、Fe組成比の高い層と低い層とが膜厚方向に交互に積層された膜状態を示す請求項5または6に記載の軟磁性膜。

【請求項8】 前記軟磁性膜には結晶粒径が、5nm以上で20nm以下となる領域が含まれている請求項1ないし7のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項9】 前記軟磁性膜には少なくとも一部に、体心立方構造と面心立方構造との混在領域が存在する請求項1ないし8のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項10】 前記軟磁性膜は、NiFe系合金である請求項1ないし9のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項11】 前記軟磁性膜のFe組成比の平均値は、65質量%以上で85質量%以下である請求項10記載の軟磁性膜。

【請求項12】 前記軟磁性膜は、CoFe系合金である請求項1ないし9のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項13】 前記軟磁性膜のFe組成比の平均値は、60質量%以上で80質量%以下である請求項12記載の軟磁性膜。

【請求項14】 前記軟磁性膜は、CoFeNi系合金である請求項1ないし9のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項15】 前記軟磁性膜のCo組成比の平均値aは、8質量%以上で48質量%以下で、Fe組成比の平均値bは、50質量%以上で90質量%以下で、Ni組成比の平均値cは、2質量%以上で20質量%以下であり、各平均値を足し合わせたa+b+cは100質量%である請求項14記載の軟磁性膜。

【請求項16】 前記軟磁性膜はメッキ形成される請求項1ないし15のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項17】 磁性材料製の下部コア層と、前記下部

コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、

少なくとも一方のコア層は、請求項1ないし16のいずれかに記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項18】 前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層が隆起形成され、前記下部磁極層が前記軟磁性膜により形成されている請求項17記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項19】 下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、

前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成され、

前記上部磁極層、下部磁極層、上部コア層あるいは下部コア層のいずれかが、請求項1ないし16のいずれかに記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項20】 Feと前記Fe以外の磁性元素を含有する軟磁性膜の製造方法において、前記軟磁性膜を電気メッキ法で形成し、このとき印加電流の電流密度を周期的に変動させ、これによりFeの組成比が膜厚方向に変動し、Fe組成比が最も多い部分とFe組成比が最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となる変動領域を、前記軟磁性膜の少なくとも一部の領域に設けることを特徴とする軟磁性膜の製造方法。

【請求項21】 パルス電流を用いて、印加電流の電流密度を周期的に変動させる請求項20記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項22】 前記Fe組成比の差が6質量%以上となる変動領域を、前記軟磁性膜の少なくとも一部の領域に設ける請求項20または21に記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項23】 前記Fe組成比の差が8質量%以上となる変動領域を、前記軟磁性膜の少なくとも一部の領域に設ける請求項20または21に記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項24】 前記Fe組成比の差が10質量%以上となる変動領域を、前記軟磁性膜の少なくとも一部の領域に設ける請求項20または21に記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項25】 少なくとも一部のFe組成比は膜厚方向に周期的に変動し、一周期の長さを10nm以上で150nm以下にする請求項20ないし24のいずれかに

記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項26】 前記一周期の長さを100nm以下にする請求項25記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項27】 前記軟磁性膜に結晶粒径が、5nm以上で20nm以下となる領域を形成する請求項20ないし26のいずれかに記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項28】 前記軟磁性膜の少なくとも一部に、体心立方構造と面心立方構造との混在領域を形成する請求項20ないし27のいずれかに記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項29】 前記軟磁性膜を、NiFe系合金でメッキ形成する請求項20ないし28のいずれかに記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項30】 前記軟磁性膜のFe組成比の平均値を、65質量%以上で85質量%以下で形成する請求項29記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項31】 前記軟磁性膜を、CoFe合金でメッキ形成する請求項20ないし28のいずれかに記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項32】 前記軟磁性膜のFe組成比の平均値を、60質量%以上で80質量%以下で形成する請求項31記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項33】 前記軟磁性膜を、CoFeNi系合金で形成する請求項20ないし28のいずれかに記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項34】 前記軟磁性膜のCo組成比の平均値aを、8質量%以上で48質量%以下で、Fe組成比の平均値bを、50質量%以上で90質量%以下で、Ni組成比の平均値cを、2質量%以上で20質量%以下で形成し、各平均値を足し合わせた $a+b+c$ を100質量%にする請求項33記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項35】 磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドの製造方法において、少なくとも一方のコア層を、請求項20ないし34のいずれかに記載された軟磁性膜によりメッキ形成することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項36】 前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層を隆起形成し、前記下部磁極層を前記軟磁性膜によりメッキ形成する請求項35記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項37】 下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極

層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成され、前記上部磁極層、下部磁極層、上部コア層あるいは下部コア層のいずれかを、請求項20ないし34のいずれかに記載された軟磁性膜によりメッキ形成することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばハードディスク装置に内蔵される記録用の薄膜磁気ヘッド（インダクティブヘッド）のコア材等として使用されるFeとFe以外の磁性元素とを含有した軟磁性膜に係り、特に飽和磁束密度Bsの向上と保磁力Hcの低減を図ることが可能な軟磁性膜と前記軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド、および前記軟磁性膜の製造方法と前記薄膜磁気ヘッドの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】例えばハードディスク装置に内蔵される記録用の薄膜磁気ヘッド（インダクティブヘッド）を構成するコア材等には、NiFe系合金（パーマロイ）がよく用いられる。

【0003】前記NiFe系合金は、比較的優れた軟磁気特性を有し、しかもメッキ形成の容易さなどから、頻繁に使用される磁性材料の一つとなっている。

【0004】従来ではNiFe系合金のFe組成比は55質量%程度であり、飽和磁束密度Bsは1.5T程度であった。

【0005】しかし今後の高記録密度化に伴い、記録密度を向上させるには、前記NiFe合金の飽和磁束密度Bsをさらに高くすることが要望されていた。

【0006】前記飽和磁束密度Bsは主としてFe組成比に依存することから、従来では前記NiFe系合金のFe組成比を如何にして大きくし飽和磁束密度Bsを高めるかに重点が置かれていた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来では例えばNiFe系合金などで形成されたコア材は、その全体がほぼ均一な組成比で形成されていた。このように均一な組成比とすることで飽和磁束密度Bsの安定化を図ることができると考えられたからである。

【0008】そして、コア材の組成比を均一に保ちながら、Fe組成比の増大を図ることで、より高い飽和磁束密度Bsが得られるものと考えられた。

【0009】しかしながらFe組成比を高めると確かに飽和磁束密度Bsは大きくなるが、その一方で保磁力Hcが大きくなるという課題が発生した。これはFe組成比を均一な組成比に保ちながら大きくしたことで結晶粒径が粗大化したことが一因ではないかと考えられる。

【0010】なお保磁力の増大はコア材の磁化反転を鈍化させ、記録特性を劣化させることから好ましくない。

【0011】そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、特に、軟磁性膜に含有されるFe組成比を膜厚方向に変動させ、飽和磁束密度Bsの増大とともに保磁力Hcの低減を図ることが可能な軟磁性膜と前記軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド、および前記軟磁性膜の製造方法と前記薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供することを目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、Feと前記Fe以外の磁性元素を含有する軟磁性膜において、少なくとも一部の領域には、Feの組成比が膜厚方向に変動する変動領域が設けられており、前記変動領域では、Fe組成比が最も多い部分とFe組成比が最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上であることを特徴とするものである。

【0013】後述する実験結果によれば、前記Fe組成比が最も多い部分とFe組成比が最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上であれば、Fe組成比が膜厚方向に変動せずほぼ均一な組成比を保つ従来の軟磁性膜に比べて、保磁力Hcを効果的に低減させることができること確認された。

【0014】本発明のようにFe組成比を膜厚方向に変動させると、従来のようにFe組成比を均一にしていた場合に比べて結晶粒の成長が組成比の変動によって阻害され、結晶粒は大きく成長しにくい。従って従来に比べて結晶粒径の粗大化が抑制され、前記結晶粒径が微細化しやすくなる。このため軟磁性膜の保磁力Hcを、従来に比べて低減させることができる。

【0015】しかも後述する実験結果によれば、本発明における軟磁性膜のFe組成比の平均値が従来の軟磁性膜のFe組成比と同等である場合、飽和磁束密度Bsは従来とほぼ同じ値になる。つまりFe組成比を膜厚方向に変動させることでFe組成比の小さい領域が存在していても、Fe組成比の平均値を大きくできれば高い飽和磁束密度Bsが得られることが確認された。

【0016】このように本発明によれば、Fe組成比の平均値の増大によって高い飽和磁束密度Bsと、Fe組成比の膜厚方向への変動によって従来に比べて低い保磁力Hcとを同時に得ることが可能な軟磁性膜を提供することが可能になる。

【0017】また本発明では、前記Fe組成比の差は6質量%以上、あるいは8質量%以上、さらには10質量%以上であることが好ましい。

【0018】また本発明では、少なくとも一部に前記Fe組成比は膜厚方向に周期的に変動し、一周期の長さは10nm以上で150nm以下であることが好ましい。

【0019】このようにFe組成比を膜厚方向に周期的に変動させることで、従来に比べて保磁力Hcを低くできることが確認されている。なお前記一周期の長さは100nm以下であることがより好ましい。周期を短くす

るほど、保磁力の低減をより適切に図ることができることが確認されている。周期を短くすれば、Fe組成比がそれだけ膜厚方向に激しく変動することになるから、結晶成長がより鈍化し結晶粒径の微細化を図ることができ、より効果的に保磁力の低減を図ることが可能になる。

【0020】また本発明では、透過電子顕微鏡で観測したとき、前記軟磁性膜は、Fe組成比の高い層と低い層とが膜厚方向に交互に積層された膜状態を示すことが好ましい。このような膜状態は、Fe組成比が膜厚方向に周期的に変動していることを表している。

【0021】また本発明では、前記軟磁性膜には結晶粒径が、5nm以上で20nm以下となる領域（微結晶相）が含まれることが好ましい。これによって保磁力の低減をより適切に図ることが可能である。

【0022】また本発明では、前記軟磁性膜には少なくとも一部に、体心立方構造と面心立方構造との混在領域が存在することが好ましい。このように体心立方構造（bcc構造）と面心立方構造（fcc構造）との混在領域が存在すると、より適切に保磁力Hcの低減を図ることが可能である。

【0023】また本発明では、前記軟磁性膜は、NiFe系合金であることが好ましく、このとき前記軟磁性膜のFe組成比の平均値は、65質量%以上で85質量%以下であることが好ましい。これによって1.8T以上の飽和磁束密度Bs、好ましくは1.9T以上の飽和磁束密度Bs、より好ましくは2.0T以上の飽和磁束密度Bsを得ることが可能である。

【0024】あるいは本発明では、前記軟磁性膜は、CoFe合金であることが好ましく、このとき前記軟磁性膜のFe組成比の平均値は、60質量%以上で80質量%以下であることが好ましい。これによって2.0T以上の飽和磁束密度Bs、好ましくは2.2T以上の飽和磁束密度Bsを得ることが可能である。

【0025】さらには本発明では、前記軟磁性膜は、CoFeNi系合金であることが好ましく、このとき前記軟磁性膜のCo組成比の平均値aは、8質量%以上で48質量%以下で、Fe組成比の平均値bは、50質量%以上で90質量%以下で、Ni組成比の平均値cは、2質量%以上で20質量%以下であり、各平均値を足し合わせたa+b+cは100質量%であることが好ましい。これによって2.0T以上の飽和磁束密度Bs、好ましくは2.2T以上の飽和磁束密度Bsを得ることが可能である。

【0026】また本発明では、前記軟磁性膜はメッキ形成されることが好ましい。本発明は、磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、少なくとも一方のコア層は、上記のいずれかに記載された軟磁性膜

により形成されていることを特徴とするものである。

【0027】また本発明では、前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層が隆起形成され、前記下部磁極層が前記軟磁性膜により形成されていることが好ましい。

【0028】また本発明は、下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成され、前記上部磁極層、下部磁極層、上部コア層あるいは下部コア層のいずれかは、上記のいずれかに記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とするものである。

【0029】本発明では、従来に比べて高い飽和磁束密度 B_s と低い保磁力 H_c とを有する薄膜磁気ヘッドを製造することができ、今後の高記録密度化に適切に対応することが可能な、記録特性に優れた薄膜磁気ヘッドを提供することができる。

【0030】また本発明は、Feと前記Fe以外の磁性元素を含有する軟磁性膜の製造方法において、前記軟磁性膜を電気メッキ法で形成し、このとき印加電流の電流密度を周期的に変動させ、これによりFeの組成比が膜厚方向に変動し、Fe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となる変動領域を、前記軟磁性膜の少なくとも一部の領域に設けることを特徴とするものである。

【0031】上記のように本発明では前記軟磁性膜を電気メッキ法にて形成するとき、印加電流の電流密度を周期的に変動させている。これによって前記軟磁性膜のFe組成比は膜厚方向に変動し、Fe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となる変動領域を、前記軟磁性膜の少なくとも一部の領域に設けることが可能になる。

【0032】本発明では、パルス電流を用いて、印加電流の電流密度を周期的に変動させることが好ましい。これによって軟磁性膜中のFe組成比の平均値を大きくでき、従来に比べて高い飽和磁束密度 B_s を得ることができると共に、効果的に保磁力 H_c を低減させることが可能な軟磁性膜を製造することが可能になる。

【0033】また本発明では、前記Fe組成比の差が6質量%以上となる変動領域、あるいは前記Fe組成比の差が8質量%以上となる変動領域、さらには前記Fe組成比の差が10質量%以上となる変動領域を、前記軟磁性膜の少なくとも一部の領域に設けることが好ましい。

【0034】また本発明では、少なくとも一部のFe組

成比は膜厚方向に周期的に変動し、このとき一周期の長さを10nm以上で150nm以下にすることが好ましい。また本発明では、前記一周期の長さを100nm以下にすることがより好ましい。これにより、さらなる保磁力 H_c の低減を図ることができる。

【0035】また本発明では、前記軟磁性膜に結晶粒径が、5nm以上で20nm以下となる領域を形成することが好ましい。

【0036】また本発明では、前記軟磁性膜の少なくとも一部に、体心立方構造と面心立方構造との混在領域を形成することが好ましい。

【0037】また本発明では、前記軟磁性膜を、NiFe系合金でメッキ形成することが好ましく、このとき前記軟磁性膜のFe組成比の平均値を、65質量%以上で85質量%以下で形成することが好ましい。これにより前記軟磁性膜の飽和磁束密度 B_s を1.8T以上にでき、好ましくは1.9T以上にでき、より好ましくは2.0T以上にすることができる。

【0038】また本発明では、前記軟磁性膜を、CoFe合金でメッキ形成することが好ましく、このとき前記軟磁性膜のFe組成比の平均値を、60質量%以上で80質量%以下で形成することが好ましい。これにより前記軟磁性膜の飽和磁束密度 B_s を2.0T以上にでき、より好ましくは2.2T以上にすることができる。

【0039】また本発明では、前記軟磁性膜を、CoFeNi系合金でメッキ形成することが好ましく、このとき、前記軟磁性膜のCo組成比の平均値aを、8質量%以上で48質量%以下で、Fe組成比の平均値bを、50質量%以上で90質量%以下で、Ni組成比の平均値cを、2質量%以上で20質量%以下で形成し、各平均値を足し合わせたa+b+cを100質量%にすることが好ましい。これにより前記軟磁性膜の飽和磁束密度 B_s を2.0T以上にでき、より好ましくは2.2T以上にすることができる。

【0040】本発明は、磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドの製造方法において、少なくとも一方のコア層を、上記のいずれかに記載された軟磁性膜によりメッキ形成することを特徴とするものである。

【0041】また本発明では、前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層を隆起形成し、前記下部磁極層を前記軟磁性膜によりメッキ形成することが好ましい。

【0042】また本発明は、下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層

間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成され、前記上部磁極層、下部磁極層、下部コア層あるいは上部コア層のいずれかを、上記のいずれかに記載された軟磁性膜によりメッキ形成することを特徴とするものである。

【0043】本発明では、電気メッキ法によりコア層や磁極層をメッキ形成するとき、印加電流の電流密度を周期的に変動させることで、前記コア層や磁極層に含まれるFe組成比を適切に膜厚方向に変動させることができ、従来に比べて高い飽和磁束密度Bsと低い保磁力の双方を兼ね備えた薄膜磁気ヘッドを適切に且つ容易に製造することが可能になっている。

【0044】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の第1実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、図2は図1に示す薄膜磁気ヘッドを2-2線から切断し矢印方向から見た部分縦断面図である。

【0045】本発明における薄膜磁気ヘッドは、浮上式ヘッドを構成するセラミック材のスライダ11のトレーリング側端面11aに形成されたものであり、MRヘッドh1と、書き込み用のインダクティブヘッドh2とが積層された、MR/インダクティブ複合型薄膜磁気ヘッド（以下、単に薄膜磁気ヘッドという）となっている。

【0046】MRヘッドh1は、磁気抵抗効果を利用してハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界を検出し、記録信号を読み取るものである。

【0047】図2に示すように、前記スライダ11のトレーリング側端面11a上にAl₂O₃膜12を介してNiFe等からなる磁性材料製の下部シールド層13が形成され、さらにその上に絶縁材料製の下部ギャップ層14が形成されている。

【0048】前記下部ギャップ層14上には記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）に向けて、異方性磁気抵抗効果を利用した異方性磁気抵抗効果（AMR）素子、巨大磁気抵抗効果を利用した巨大磁気抵抗効果（GMR）素子あるいはトンネル効果を利用したトンネル型磁気抵抗効果（TMR）素子などの磁気抵抗効果素子10が形成され、さらに前記磁気抵抗効果素子10及び下部ギャップ層14上には絶縁材料製の上部ギャップ層15が形成されている。さらに前記上部ギャップ層15の上にNiFe等の磁性材料で形成された上部シールド層16が形成されている。MRヘッドh1は、前記下部シールド層13から上部シールド層16までの積層膜で構成されている。

【0049】次に図1及び2に示す実施形態では、前記上部シールド層16（下部コア層）がインダクティブヘッドh2の下部コア層としても兼用されており、前記下部コア層16上には、Gd決め層17が形成され、記録

媒体との対向面から前記Gd決め層17の先端部までの長さ寸法でギャップデプス（Gd）が規制される。前記Gd決め層17は例えば絶縁材料などで形成される。

【0050】また前記下部コア層16の上面16aは図1に示すように、磁極部18の基端からトラック幅方向（図示X方向）に離れるにしたがって下面方向に傾く傾斜面で形成されており、これによりサイドフリンジングの発生を抑制することが可能である。

【0051】また図2に示すように、記録媒体との対向面から前記Gd決め層17上にかけて磁極部18が形成されている。

【0052】前記磁極部18は下から下部磁極層19、非磁性のギャップ層20、及び上部磁極層21が積層されている。

【0053】前記下部磁極層19は、下部コア層16上に直接メッキ形成されている。また前記下部磁極層19の上に形成されたギャップ層20は、メッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されていることが好ましい。具体的には、NiP、NiPd、NiW、NiMo、Au、Pt、Rh、Pd、Ru、Crのうち1種または2種以上から選択されたものであることが好ましい。

【0054】なお本発明における具体的な実施形態として前記ギャップ層20にはNiPが使用される。NiPで前記ギャップ層20を形成することで前記ギャップ層20を適切に非磁性状態にできるからである。

【0055】さらに前記ギャップ層20の上に形成された上部磁極層21は、その上に形成される上部コア層22と磁気的に接続される。

【0056】上記のようにギャップ層20がメッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されると、下部磁極層19、ギャップ層20及び上部磁極層21を連続メッキ形成することが可能である。

【0057】なお前記磁極部18は、ギャップ層20及び上部磁極層21の2層で構成されていてもよい。

【0058】図1に示すように、前記磁極部18はトラック幅方向（図示X方向）における幅寸法がトラック幅Twで形成されている。前記トラック幅Twは、0.1μm以上で0.8μm以下の幅寸法で、より好ましくは、0.1μm以上で0.5μm以下で形成されている。

【0059】また前記磁極部18の高さ寸法とトラック幅Twとの比は、3.0〜40.0程度である。

【0060】図1及び図2に示すように、前記磁極部18のトラック幅方向（図示X方向）の両側及びハイト方向後方（図示Y方向）には絶縁層23が形成されている。前記絶縁層23の上面は前記磁極部18の上面と同一平面とされる。

【0061】図2に示すように、前記絶縁層23上にはコイル層24が螺旋状にパターン形成されている。また前記コイル層24上は有機絶縁製の絶縁層25によって

覆われている。

【0062】図2に示すように、磁極部18上から絶縁層25上にかけて上部コア層22が例えばフレイムメッキ法によりパターン形成されている。図1に示すように、前記上部コア層22の先端部22aは、記録媒体との対向面でのトラック幅方向における幅寸法がT1で形成され、かかる幅寸法T1はトラック幅Twよりも大きく形成されている。

【0063】また図2に示すように、前記上部コア層22の基端部22bは、下部コア層16上に形成された磁性材料製の接続層（バックギャップ層）26上に直接接続されている。

【0064】本発明では、前記上部磁極層21及び／または下部磁極層19に使用される軟磁性膜は以下の特徴点を有する軟磁性膜で形成される。

【0065】本発明では、前記軟磁性膜はFeと前記Fe以外の磁性元素を含有する材質であり、前記軟磁性膜の少なくとも一部の領域には、Feの組成比が膜厚方向（図示Z方向）に変動する変動領域が形成されている。

【0066】さらに本発明では、前記変動領域では、Fe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となっている。

【0067】図3は、例えば前記上部磁極層21が本発明におけるFeとそれ以外の磁性元素からなる軟磁性膜で形成されているときの、膜厚方向に対するFe組成比の変動を示す模式図である。

【0068】従来では、前記Fe組成比は膜厚方向にほぼ均一にされていたが、本発明では図3のように、Fe組成比が膜厚方向に変動し、前記Fe組成比の最も多い部分と最も少ない部分の差h1が4質量%以上となるようにしている。

【0069】これによって従来に比べて適切に保磁力Hcの低減を図ることができたのである。

【0070】このようにFe組成比を膜厚方向に変動させると、前記軟磁性膜を構成する磁性元素の結晶粒はFe組成の変動によって成長を妨げられ、大きな結晶粒は成長しにくい。このため従来のようにFe組成比を均一な組成比にした場合に比べて結晶粒径は粗大化しにくく、結晶粒径の微細化によって保磁力Hcを低減できる。

【0071】また本発明では、前記軟磁性膜に形成された変動領域でのFe組成比が最も高い部分と低い部分との差が6質量%以上であることが好ましく、8質量%以上であることがより好ましく、10質量%以上であることがさらに好ましい。前記Fe組成比の変動差が大きければ大きいほど、結晶粒は成長しにくく、結晶粒径の微細化が促進され、より適切に保磁力Hcの低減を図ることができる。

【0072】また本発明では前記軟磁性膜のFe組成比は膜厚方向（図示Z方向）に周期的に変動していること

が好ましい。図3のように、前記上部磁極層21内に含有するFe組成比（質量%）は、膜厚方向に周期的に変動しており、一周期の長さがt1である。

【0073】本発明では前記一周期の長さt1は10nm以上で150nm以下であることが好ましい。一周期の長さt1が10nmよりも小さくなると組成比の変動を狙い通りに誘導できず、結晶粒の粗大化を招き逆に保磁力Hcの増大を引き起こすことがあり好ましくない。また前記一周期の長さt1が150nmよりも大きくなると、Fe組成比の膜厚方向に対する変動が緩やかになりすぎ、結晶粒の粗大化が促進されやすくなり、保磁力Hcの低減を適切に図ることができない。

【0074】本発明では前記一周期の長さt1を10nm以上で150nm以下にすることで、Fe組成比の膜厚方向に対する変動が激しくなり、これによって適切に結晶成長が阻害され、結晶粒径が微細化し、効果的に保磁力Hcの低減を図ることが可能になる。

【0075】本発明では、前記一周期の長さt1は100nm以下であることが好ましい。前記一周期の長さt1が短いほど、結晶成長がより効果的に妨げられ、結晶粒径が微細化し、保磁力Hcをさらに低減させることが可能になる。

【0076】また本発明では、後述する実験で説明するように、透過電子顕微鏡写真（TEM写真）で前記軟磁性膜の膜厚方向に対する断面形状を観測したとき、前記軟磁性膜は、Fe組成比が高い層と低い層とが膜厚方向に交互に積層された膜状態を示すことが好ましい。

【0077】上記したFe組成比が高い層と低い層は、透過電子顕微鏡写真で見ると層の色の違いで見て取ることができる。透過電子顕微鏡写真では、前記軟磁性膜は膜厚方向に色の濃い層域と色の薄い層域とが交互に積み重なった状態で観測され、色の濃い層域が色の薄い層域に比べてFe組成比の低い層であることがTEM付属のEDS分析で確認された。

【0078】本発明では上記のように前記Fe組成比は膜厚方向に周期的に変動しているが、このような周期的なFe組成比の変動は、透過電子顕微鏡写真では、色の濃い層域と色の薄い層域とが交互に積み重なった縞状態として現れるのである。

【0079】なお、上記した4質量%以上のFe組成比の変動領域は、下部磁極層19及び／または上部磁極層21の全体に形成されていることが好ましいが、一部の領域のみに形成されていても保磁力Hcの低減効果を得ることができる。特にギャップ層20付近に前記変動領域が形成されていた方が、効果的であると思われる。

【0080】また、上記した周期的なFe組成比の変動領域は、下部磁極層19及び／または上部磁極層21の全体に形成されていることが好ましいが、そうでなくてもよい。特に上部磁極層21及び下部磁極層19の下面付近は、下地となる層との関係で周期的な変動が乱れや

すくなるので、少なくとも下部磁極層19及び／または上部磁極層21の一部に周期的な変動領域が形成されていればよい。

【0081】次に本発明の材質について以下に説明する。本発明では、上部磁極層21及び／または下部磁極層19を構成する軟磁性膜はNiFe系合金で形成されることが好ましい。

【0082】このとき前記Fe組成比の平均値は65質量%以上で85質量%以下であることが好ましい。飽和磁束密度BsはFe組成比の平均値を高くするほど大きくでき、上記のFe組成比の平均値を有するNiFe系合金であれば、1.8T以上、好ましくは1.9T以上、より好ましくは2.0T以上の飽和磁束密度Bsを得ることが可能になる。

【0083】また本発明では、前記軟磁性膜はCoFe系合金で形成されることが好ましく、このとき前記Fe組成比の平均値は60質量%以上で80質量%以下であることが好ましい。上記のFe組成比の平均値を有するCoFe系合金であれば2.0T以上、より好ましくは2.2T以上の飽和磁束密度Bsを得ることが可能になる。

【0084】また本発明では、前記軟磁性膜はCoFeNi系合金で形成されることが好ましい。本発明では、前記軟磁性膜のCo組成比の平均値aは、8質量%以上で48質量%以下で、Fe組成比の平均値bは、50質量%以上で90質量%以下で、Ni組成比の平均値cは、2質量%以上で20質量%以下であり、各平均値を足し合わせたa+b+cは100質量%であることが好ましい。これによって飽和磁束密度Bsを2.0T以上、好ましくは2.2T以上得ることができる。

【0085】そして本発明では、このようにFe組成比の平均値が高い値であっても、図3のようにFe組成比は膜厚方向に変動していることで十分に保磁力Hcを低減させることができ、今後の高記録密度化に適切に対応可能な記録特性に優れた薄膜磁気ヘッドを製造することが可能になっている。

【0086】なお本発明では、前記軟磁性膜はNiFe系合金、CoFe系合金あるいはCoFeNi系合金に限るものではない。例えばCoFeX又はFeNiX（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Ptのいずれか1種または2種以上）であってもよいし、Sなどの非金属元素をさらに含有した、例えばNiFeS合金などであっても本発明の効果をj得ることがjできる。

【0087】また本発明では前記軟磁性膜はメッキ形成されていることが好ましい。後述する製造方法による電気メッキ法により、Fe組成比が膜厚方向に変動する軟磁性膜を適切に且つ容易に形成することが可能である。またメッキ形成であると、スパッタ等の場合に比べて前記軟磁性膜の膜厚を厚く形成することができる。

【0088】次に前記軟磁性膜の結晶構造について以下

に説明する。軟磁性膜中に含まれるFeの組成比が増加すると結晶構造は体心立方構造（bcc構造）になりやすいことがわかっている。逆にFe組成比が減少すると結晶構造は面心立方構造（fcc構造）になりやすくなる。

【0089】図4は、Co、Ni、Feの三元図であり、Co、Fe及びNi組成比と結晶構造との関係を示している。図4に示す三元図は、軟磁性膜の製造工程時に、サッカリンナトリウムを応力緩和剤として用いなかった場合の結果である。

【0090】図4に示すように、例えば軟磁性膜がNiFe系合金の場合、Fe組成比は65質量%を越えると結晶構造は体心立方構造（bcc構造）になりやすくなる。一方、Fe組成比が65質量%よりも小さくなると結晶構造は面心立方構造（fcc構造）になりやすくなる。

【0091】本発明では前記軟磁性膜には少なくとも一部に、体心立方構造と面心立方構造との混在領域が存在することが好ましい。このように異なる結晶構造が混在する領域が存在すると、結晶成長はより適切に阻害され結晶粒径の微細化を促進できる。従って保磁力Hcの低下をさらに促進させることができる。前記軟磁性膜が上記したNiFe系合金である場合、Feの組成比が約65質量%となる領域が存在すると、その領域では、体心立方構造と面心立方構造とが混在する領域となり、NiFe系合金膜の保磁力Hcの低下を促進させることが可能になる。

【0092】なお本発明ではFe組成比は膜厚方向に変動しているから、例えば前記Fe組成比の平均値が75質量%であったとしても、その平均値から変動幅を10質量%以上となるように組成変動させて膜形成すれば、65質量%となるFe組成比を含む領域が膜中に存在し、前記NiFe系合金内に体心立方構造と面心立方構造とが混在する領域を設けることが可能になる。

【0093】図5に示すFe、Co及びNiからなる三元図は、軟磁性膜の製造工程時に、サッカリンナトリウムを応力緩和剤として用いた場合の結果である。

【0094】図5に示すように、例えば軟磁性膜がNiFe系合金の場合、Fe組成比は60質量%を越えると結晶構造は体心立方構造（bcc構造）になりやすくなる。一方、Fe組成比が60質量%よりも小さくなると結晶構造は面心立方構造（fcc構造）になりやすくなる。前記軟磁性膜の少なくとも一部に、体心立方構造と面心立方構造との混相領域を存在させるには、Feの組成比が約60質量%となる領域が存在することが好ましい。その領域では、体心立方構造と面心立方構造とが混在する領域となり、NiFe系合金膜の保磁力の低下を促進させることが可能になる。

【0095】なお体心立方構造と面心立方構造との混相領域が存在すると保磁力の低減を図ることができる効果

は、NiFe系合金以外の軟磁性膜も同じである。図4に示すようにCoFe系合金では、Coが80質量%、Feが20質量%となる領域があれば、その領域は体心立方構造と面心立方構造とが混在する領域となる。CoFeNi系合金の場合は、図4に示す「bcc+fcc」領域の範囲内（線上も含む）の組成比を選択すれば、その領域は、体心立方構造と面心立方構造とが混在する領域となる。

【0096】また図5の場合、CoFe系合金では、Coが約85質量%、Feが15質量%となる領域があれば、その領域は体心立方構造と面心立方構造とが混在する領域となる。またCoFeNi系合金の場合は、図5に示す「bcc+fcc」線上の組成比を選択すれば、その組成比からなる領域は、体心立方構造と面心立方構造とが混在する領域となる。

【0097】次に前記軟磁性膜の結晶粒径について以下に説明する。本発明では前記結晶粒径は5nm以上で20nm以下で形成されることが好ましい。後述する実験によれば本発明では、前記結晶粒径を5nm以上で20nm以下に設定できる。

【0098】上記したように、本発明ではFe組成比が膜厚方向に変動しており、Fe組成比の変動差が4%以上ある変動領域が存在することで、その領域では適切に結晶粒径を微細化でき、本発明では、上記した5nm以上で20nm以下の結晶粒径を得ることができるのである。これにより、より適切に保磁力Hcの低減を図ることができる。本発明では、前記保磁力Hcを約79 (A/m) = 1 (Oe) 以下にできることが後述する実験で確認されている。

【0099】なお上記した本発明における軟磁性膜は下部コア層16及び／または上部コア層22に使用されてもよい。

【0100】上記した本発明における軟磁性膜は、図1及び図2に示す薄膜磁気ヘッド以外の薄膜磁気ヘッドに使用可能である。

【0101】図6は、本発明における第2実施形態の薄膜磁気ヘッドの構造を示す部分正面図、図7は図6に示す7-7線から薄膜磁気ヘッドを切断し矢印方向から見た部分縦断面図である。

【0102】この実施形態では、MRヘッドh1の構造は図1及び図2と同じである。図6に示すように下部コア層16上には、絶縁層31が形成されている。前記絶縁層31には、記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）後方に所定の長さ寸法で形成されたトラック幅形成溝31aが形成されている。前記トラック幅形成溝31aは記録媒体との対向面においてトラック幅Twで形成されている。

【0103】前記トラック幅形成溝31aには、下から下部磁極層32、非磁性のギャップ層33、及び上部磁極層34が積層された磁極部30が形成されている。

【0104】前記下部磁極層32は、下部コア層16上に直接メッキ形成されている。また前記下部磁極層32の上に形成されたギャップ層33は、メッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されていることが好ましい。具体的には、NiP、NiPd、NiW、NiMo、Au、Pt、Rh、Pd、Ru、Crのうち1種または2種以上から選択されたものであることが好ましい。

【0105】なお本発明における具体的な実施形態として前記ギャップ層33にはNiPが使用される。NiPで前記ギャップ層33を形成することで前記ギャップ層33を適切に非磁性状態にできるからである。

【0106】なお前記磁極部30は、ギャップ層33及び上部磁極層34の2層で構成されていてもよい。

【0107】図7に示すように前記ギャップ層33の上には、記録媒体との対向面からギャップデプス（Gd）だけ離れた位置から絶縁層31上にかけてGd決め層37が形成されている。

【0108】さらに前記ギャップ層33の上に形成された上部磁極層34は、その上に形成される上部コア層40と磁気的に接続される。

【0109】上記のようにギャップ層33がメッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されると、下部磁極層32、ギャップ層33及び上部磁極層34を連続メッキ形成することが可能である。

【0110】図7に示すように前記絶縁層31の上にはコイル層38が螺旋状にパターン形成されている。前記コイル層38は有機絶縁材料などで形成された絶縁層39によって覆われている。

【0111】図6に示すように、トラック幅規制溝31aのトラック幅方向（図示X方向）における両側端面には、前記上部磁極層34の上面から前記絶縁層31の上面31bにかけて下部コア層16から離れる方向にしたがって徐々に幅寸法が広がる傾斜面31c、31cが形成されている。

【0112】そして図6に示すように上部コア層40の先端部40aは、前記上部磁極層34上面から前記傾斜面31c、31c上にかけて下部コア層16から離れる方向に形成されている。

【0113】図7に示すように前記上部コア層40は、記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）にかけて絶縁層39上に形成され、前記上部コア層40の基端部40bは下部コア層16上に直接形成されている。

【0114】図6及び図7に示す第2実施形態では、下部磁極層32及び／または上部磁極層34は、少なくとも一部の領域に、Fe組成比が膜厚方向に変動する変動領域が設けられた軟磁性膜で形成されている。前記変動領域では、Fe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となっている。

【0115】本発明では、このようにFe組成比の変動差が膜厚方向に4質量%以上変動する軟磁性膜を用い

て、磁極層32、34を形成することで、前記磁極層32、34の結晶粒径を微細化でき、保磁力Hcを従来に比べて低減させることができる。

【0116】一方、Fe組成比の平均値を大きくすることで前記磁極層32、34の飽和磁束密度Bsを高めることができ、本発明によれば、軟磁性膜の材質、およびFe組成比の平均値を適切に設定することで1.8T以上、好ましくは1.9T以上、より好ましくは2.0T以上、さらに好ましくは2.2T以上の飽和磁束密度Bsを得ることが可能である。

【0117】このように本発明では、従来に比べて高い飽和磁束密度Bsと共に、保磁力の低減を図ることができ、今後の高記録密度化に適切に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0118】また本発明では、前記磁極層32、34を構成する軟磁性膜のFe組成比が膜厚方向に周期的に変動し、一周期の長さは10nm以上で150nm以下であることが好ましい。これにより前記軟磁性膜の結晶粒径の微細化をより適切に図ることができ、さらなる保磁力Hcの低下を図ることが可能である。

【0119】なお前記磁極層32、34を構成する軟磁性膜の材質や組成比、結晶粒径、結晶構造等については、図1、2で説明した軟磁性膜と同じである。

【0120】なお上記した本発明における軟磁性膜は、下部コア層16及び／または上部コア層40に使用されてもよい。

【0121】図8は本発明における第3実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。この実施形態ではMRヘッドh1が図1と同じである。図8に示すように下部コア層16にはアルミナなどによる磁気ギャップ層（非磁性材料層）41が形成されている。さらに前記磁気ギャップ層41の上にはポリイミドまたはレジスト材料製の絶縁層43を介して平面的に螺旋状となるようにパターン形成されたコイル層44が設けられている。なお、前記コイル層44はCu（銅）などの電気抵抗の小さい非磁性導電性材料で形成されている。

【0122】さらに、前記コイル層44はポリイミドまたはレジスト材料で形成された絶縁層45に囲まれ、前記絶縁層45の上に軟磁性材料製の上部コア層46が形成されている。

【0123】図8に示すように、前記上部コア層46の先端部46aは、記録媒体との対向面において、下部コア層16の上に前記磁気ギャップ層41を介して対向し、磁気ギャップ長G11の磁気ギャップが形成されており、上部コア層46の基端部46bは図7に示すように、下部コア層16と磁気的に接続されている。

【0124】本発明では、下部コア層16及び／または上部コア層46は、少なくとも一部の領域に、Fe組成比が膜厚方向に変動する変動領域が設けられた軟磁性膜で形成されている。前記変動領域では、Fe組成比が最

も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となっている。

【0125】本発明では、このようにFe組成比の変動差が膜厚方向に4質量%以上変動する軟磁性膜を用いて、コア層16、46を形成することで、前記コア層16、46の結晶粒径を微細化でき、保磁力Hcを従来に比べて低減させることができる。

【0126】一方、Fe組成比の平均値を大きくすることで前記コア層16、46の飽和磁束密度Bsを高めることができ、本発明によれば、軟磁性膜の材質、およびFe組成比の平均値を適切に設定することで1.8T以上、好ましくは1.9T以上、より好ましくは2.0T以上、さらに好ましくは2.2T以上の飽和磁束密度Bsを得ることが可能である。

【0127】このように本発明では従来に比べて、高い飽和磁束密度Bsと共に、保磁力Hcの低減を図ることができ、今後の高記録密度化に適切に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0128】また本発明では、前記コア層16、46を構成する軟磁性膜のFe組成比が膜厚方向に周期的に変動し、一周期の長さは10nm以上で150nm以下であることが好ましい。これにより前記軟磁性膜の結晶粒径の微細化をより適切に図ることができ、さらなる保磁力Hcの低下を図ることが可能である。

【0129】なお前記コア層16、46を構成する軟磁性膜の材質や組成比、結晶粒径、結晶構造等については、図1、2で説明した軟磁性膜と同じである。

【0130】図9は本発明における第4実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。図8との違いは、上部コア層46が2層の磁性層で積層されて構成されていることである。

【0131】前記上部コア層46は、高い飽和磁束密度Bsを有する高Bs層47とその上に積層された上層48とで構成されている。

【0132】前記高Bs層47は、少なくとも一部の領域に、Fe組成比が膜厚方向に変動する変動領域が設けられた軟磁性膜で形成されている。前記変動領域では、Fe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となっている。

【0133】本発明では、このようにFe組成比の変動差が膜厚方向に4質量%以上変動する軟磁性膜を用いて、前記高Bs層47を形成することで、前記高Bs層47の結晶粒径を微細化でき、保磁力Hcを従来に比べて低減させることができる。

【0134】一方、Fe組成比の平均値を大きくすることで前記高Bs層47の飽和磁束密度Bsを高めることができ、本発明によれば、軟磁性膜の材質、およびFe組成比の平均値を適切に設定することで1.8T以上、好ましくは1.9T以上、より好ましくは2.0T以上、さらに好ましくは2.2T以上の飽和磁束密度Bs

を得ることが可能である。

【0135】このように本発明では従来に比べて、高い飽和磁束密度 B_s と共に、保磁力 H_c の低減を図ることができ、今後の高記録密度化に適切に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0136】また本発明では、前記高 B_s 層47を構成する軟磁性膜のFe組成比が膜厚方向に周期的に変動し、一周期の長さは10nm以上で150nm以下であることが好ましい。これにより前記軟磁性膜の結晶粒径の微細化をより適切に図ることができ、さらなる保磁力 H_c の低下を図ることが可能である。

【0137】なお前記高 B_s 層47を構成する軟磁性膜の材質や組成比、結晶粒径、結晶構造等については、図1、2で説明した軟磁性膜と同じである。

【0138】前記上部コア層46を構成する上層48は、高 B_s 層47に比べて飽和磁束密度 B_s が小さくなっているものの、前記高 B_s 層47よりも比抵抗が高くなっている。前記上層48は例えばNiFe合金で形成され、この場合、前記上層48のFe組成比の平均値は、高 B_s 層47のFeの組成比の平均値よりも小さいことが好ましい。これによって前記高 B_s 層47が前記上層48よりも高い飽和磁束密度 B_s を有し、ギャップ近傍に磁束を集中させて、記録分解能を向上させることが可能になる。なお前記上層48はNiFe合金で形成される必要はなく、例えばCoFe合金やCoFeNi等で形成されてもよい。かかる場合、前記高 B_s 層47の飽和磁束密度 B_s の方が上層48よりも高くなるように、前記上層48を形成する軟磁性材料の組成比を適切に調整することが好ましい。

【0139】また前記上部コア層46に比抵抗の高い上層48が設けられたことで、記録周波数が増加することにより発生する渦電流による損失を低減させることができ、今後の高記録周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0140】また本発明では図9に示すように、高 B_s 層47が、ギャップ層41と対向する下層側に形成されていることが好ましい。また前記高 B_s 層47はギャップ層41上に直接接する上部コア層46の先端部46aのみに形成されていてもよい。

【0141】また下部コア層16も、高 B_s 層と高比抵抗層の2層で構成されていてもよい。かかる構成の場合、高比抵抗層の上に高 B_s 層が積層され、前記高 B_s 層がギャップ層41を介して上部コア層46と対向する。

【0142】また図9に示す実施形態では、上部コア層46が2層の積層構造となっているが、3層以上であってもよい。かかる構成の場合、高 B_s 層47は、磁気ギャップ層41に接する側に形成されることが好ましい。

【0143】なお前記下部コア層16あるいは上部コア層46の上層48が本発明における軟磁性膜で形成され

ていてもよい。

【0144】図10は本発明における第5実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。図10の実施形態ではMRヘッドh1の構成は図1と同じである。図10に示すように下部コア層16の上に下部磁極層50が記録媒体との対向面から隆起形成されている。前記下部磁極層50のハイト方向後方（図示Y方向）には絶縁層51が形成されている。前記絶縁層51の上面は、凹形状となり、コイル形成面51aが形成されている。

【0145】前記下部磁極層50上から前記絶縁層51にかけてギャップ層52が形成されている。さらに前記絶縁層51のコイル形成面51a上にはギャップ層52を介してコイル層53が形成されている。前記コイル層53上は有機絶縁製の絶縁層54によって覆われている。

【0146】図10に示すように上部コア層55は、前記ギャップ層52上から絶縁層54上にかけて例えばフレームメッキ法によりパターン形成されている。

【0147】前記上部コア層55の先端部55aは前記ギャップ層52上に下部磁極層50と対向して形成される。前記上部コア層55の基端部55bは、下部コア層16上に形成された持上げ層56を介して前記下部コア層16に磁気的に接続される。

【0148】この実施形態においては、上部コア層55及び／または下部磁極層50は、少なくとも一部の領域に、Fe組成比が膜厚方向に変動する変動領域が設けられた軟磁性膜で形成されている。前記変動領域では、Fe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となっている。

【0149】本発明では、このようにFe組成比の変動差が膜厚方向に4質量%以上変動する軟磁性膜を用いて、上部コア層55及び／または下部磁極層50を形成することで、前記上部コア層55及び／または下部磁極層50の結晶粒径を微細化でき、保磁力 H_c を従来に比べて低減させることができる。

【0150】一方、Fe組成比の平均値を大きくすることで前記上部コア層55及び／または下部磁極層50の飽和磁束密度 B_s を高めることができ、本発明によれば、軟磁性膜の材質、およびFe組成比の平均値を適切に設定することで1.8T以上、好ましくは1.9T以上、より好ましくは2.0T以上、さらに好ましくは2.2T以上の飽和磁束密度 B_s を得ることが可能である。

【0151】このように本発明では従来に比べて、高い飽和磁束密度 B_s と共に、保磁力の低減を図ることができ、今後の高記録密度化に適切に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0152】また本発明では、前記上部コア層55及び／または下部磁極層50を構成する軟磁性膜のFe組成比が膜厚方向に周期的に変動し、一周期の長さは10n

m以上で150nm以下であることが好ましい。これにより前記軟磁性膜の結晶粒径の微細化をより適切に図ることができ、さらなる保磁力Hcの低下を図ることが可能である。

【0153】なお前記上部コア層55及び／または下部磁極層50を構成する軟磁性膜の材質や組成比、結晶粒径、結晶構造等については、図1、2で説明した軟磁性膜と同じである。

【0154】図10では下部磁極層50が形成され、前記下部磁極層50が下部コア層16よりも高い飽和磁束密度Bsを有する前記軟磁性膜で形成されると、ギャップ近傍に磁束を集中させることができ記録密度の向上を図ることが可能である。

【0155】また上部コア層55は、図9と同様に前記上部コア層55が2層以上の磁性層の積層構造であり、そのギャップ層52と対向する側が高Bs層で形成されていてもよい。またかかる場合、前記上部コア層55の先端部55aのみが2層以上の磁性層の積層構造で形成され、前記ギャップ層52上に接して高Bs層が形成されていることが、ギャップ近傍に磁束を集中させ、記録密度を向上させる点からして好ましい。

【0156】なお各実施形態において、符号16の層は、下部コア層と上部シールド層の兼用層となっているが、前記下部コア層と上部シールド層とが別々に形成されていてもよい。かかる場合、前記下部コア層と上部シールド層間には絶縁層を介在させる。

【0157】また前記下部コア層16が本発明における軟磁性膜で形成されていてもよい。次に図1、2、図6ないし図10に示す薄膜磁気ヘッドの一般的な製造方法について以下に説明する。

【0158】図1及び図2に示す薄膜磁気ヘッドは、下部コア層16上にGd決め層17を形成した後、レジストを用いて記録媒体との対向面からハイト方向に下部磁極層19、非磁性のギャップ層20及び上部磁極層21から成る磁極部18を連続メッキによって形成する。次に前記磁極部18のハイト方向後方に絶縁層23を形成した後、例えばCMP技術を用いて前記磁極部18の上面と前記絶縁層23の上面とを同一平面に平坦化する。前記絶縁層23の上にコイル層24を螺旋状にパターン形成した後、前記コイル層24の上に絶縁層25を形成する。そして前記磁極部18上から絶縁層25上にかけて上部コア層22を例えばフレームメッキ法により形成する。

【0159】図6及び図7に示す薄膜磁気ヘッドは、下部コア層16上に絶縁層31を形成した後、レジストを用いて前記絶縁層31の記録媒体との対向面からハイト方向後方に向けてトラック幅形成溝31aを形成する。さらに前記トラック幅形成溝31aに図6に示す傾斜面31c、31cを形成する。

【0160】前記トラック幅形成溝31a内に、下部磁

極層32、非磁性のギャップ層33を形成する。前記ギャップ層33上から絶縁層31上にGd決め層37を形成した後、前記ギャップ層33上に上部磁極層34をメッキ形成する。次に前記絶縁層31上にコイル層38を螺旋状にパターン形成した後、前記コイル層38上に絶縁層39を形成する。そして前記上部磁極層34上から絶縁層39上にかけて上部コア層40を例えばフレームメッキ法にて形成する。

【0161】図8、図9に示す薄膜磁気ヘッドは、まず下部コア層16上にギャップ層41を形成し、さらに絶縁層43を形成した後、前記絶縁層43の上にコイル層44をパターン形成する。前記コイル層44上に絶縁層45を形成した後、ギャップ層41から前記絶縁層45上にかけて上部コア層46をフレームメッキ法によりパターン形成する。

【0162】図10に示す薄膜磁気ヘッドは、まず下部コア層16上にレジストを用いて下部磁極層50を形成し、さらに前記下部磁極層50のハイト方向後方に絶縁層51を形成する。前記下部磁極層50と前記絶縁層51の上面はCMP技術によって一旦平坦化された後、前記絶縁層51の上面に凹形状となるコイル形成面51aを形成する。次に前記下部磁極層50上から前記絶縁層51上にギャップ層52を形成した後、前記ギャップ層52上にコイル層53を螺旋状にパターン形成し、さらに前記コイル層53上に絶縁層54を形成する。そして、前記ギャップ層52上から絶縁層54上にかけて上部コア層55を例えばフレームメッキ法によりパターン形成する。

【0163】次に本発明における軟磁性膜の製造方法について以下に説明する。本発明における軟磁性膜はFeと前記Fe以外の磁性元素を含有するものである。例えばNiFe系合金、CoFe系合金、CoFeNi系合金などである。

【0164】本発明では、上記軟磁性膜を電気メッキ法を用いてメッキ形成する。電気メッキ法には、例えばパルス電流を用いた電気メッキ法を用いる。パルス電流を用いた電気メッキ法では、例えば電流制御素子のON/OFFを繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、軟磁性膜を、少しずつメッキ形成し、そしてメッキ浴に占めるFeイオンの濃度を増やしても、直流電流を用いた場合に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。

【0165】なおパルス電流は、例えば数秒サイクルでON/OFFを繰返し、デューティ比を0.1～0.5程度にすることが好ましい。パルス電流の条件は、軟磁性膜の平均結晶粒径及び膜面の中心線平均粗さRaなどに影響を与える。

【0166】上記のようにパルス電流による電気メッキ

法では、メッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することができるから、直流電流による電気メッキ法に比べて軟磁性膜に含まれるFe含有量を従来よりも増やすことが可能になる。

【0167】また本発明では、前記パルス電流による電気メッキの際、印加電流の電流密度を周期的に変動させる。図11は、本発明におけるパルス電流のタイミング図である。

【0168】図11に示すように、まずON時の電流密度(通電電流密度)が i_1 であり、ON時間が $T1a$ (秒)、OFF時間が $T1b$ (秒)のパルス電流を $T1$ (秒)流す。次に電流密度が前記電流密度 i_1 よりも大きい i_2 であり、ON時間が $T2a$ 、OFF時間が $T2b$ のパルス電流を $T2$ (秒)流す。

【0169】図11に示すように高い電流密度 i_2 を有するパルス電流と低い電流密度 i_1 を有するパルス電流とを交互に繰返し周期的に流し、前記軟磁性膜を電気メッキしていくと、前記軟磁性膜にはFe組成比が膜厚方向に変動する変動領域が形成される。本発明では前記変動領域において、Fe組成比が最も多い部分と少ない部分とで前記Fe組成比の差が4質量%以上となるように、前記電流密度の大きさを調整する。

【0170】電気メッキ時における前記電流密度が大きくなれば、Fe組成比は大きくなり、前記電流密度が小さくなれば、Fe組成比は小さくなる。このため図11に示す高い電流密度 i_2 と低い電流密度 i_1 との差を大きくすることで、軟磁性膜中に含まれるFe組成比の変動差を大きくでき、前記変動差を4質量%以上にすることが可能になる。

【0171】なお本発明では前記変動差が6質量%以上になることが好ましく、また前記変動差が8質量%以上になることがより好ましく、また前記変動差が10質量%以上になることがさらに好ましいので、このような変動差を得られるように、電気メッキ時における高い電流密度 i_2 と低い電流密度 i_1 との大きさを調整することが好ましい。Fe組成比の変動差が大きくなることで、軟磁性膜の結晶粒はより微細化し、保磁力 H_c のさらなる低減を図ることができる。

【0172】また図11に示すようにパルス電流を、低い電流密度 i_1 で $T1$ の時間流した後、高い電流密度 i_2 で $T2$ の時間流し、これを一サイクルとして、周期的にこのサイクルを繰り返している。このようにパルス電流を所定時間、周期的に変動させることで、メッキ形成される軟磁性膜のFe組成比は図3に示すように、膜厚方向に周期的に変動するようになる。本発明では、前記Fe組成比の変動の一周期は10nm以上で150nm以下であることが、より適切に結晶粒径の微細化を促進させることができ、さらなる保磁力 H_c の低減を図ることができるので、前記Fe組成比の変動の一周期が10nm以上で150nm以下となるように、図11に示す

時間 $T1$ 、 $T2$ を調整することが好ましい。この時間 $T1$ と時間 $T2$ を合わせた時間が長くなればなるほど一周期の長さは長くなり、一方、前記時間 $T1$ と時間 $T2$ を合わせた時間が短くなればなるほど一周期の長さは短くなる。

【0173】また本発明では、前記一周期の長さが100nm以下となるように、電気メッキ時の時間 $T1$ と $T2$ とを合わせた時間を適切に調整することが好ましい。

【0174】なお図11では1周期目と2周期目、及びそれ以降の周期が全く同じパルス条件となっているが、周期毎にパルス条件(電流密度の大きさや電流時間など)を変えてもかまわない。これによってFe組成比の変動差が途中から変わったり、あるいはFe組成比の一周期の長さが途中で変化する軟磁性膜を製造できる。

【0175】また図11では、最初、低い電流密度 i_1 のパルス電流を流し、次に高い電流密度 i_2 のパルス電流を流しているが、逆に、最初に高い電流密度 i_2 のパルス電流を流した後、次に低い電流密度 i_1 のパルス電流を流し、これを周期的に繰返してもよいことは言うまでもない。

【0176】また本発明では、パルス電流以外に直流電流を用いた電気メッキ法を使用してもよい。図12のタイミング図に示すように、まず電流密度が i_3 の直流電流を $T3$ 流した後、直流電流の電流密度を i_4 に上昇させて $T4$ 時間流す。これによってもFe組成比の変動差が膜厚方向に4質量%以上変動し、さらには前記Fe組成比が膜厚方向に周期的に変動する軟磁性膜を製造することが可能である。

【0177】なお図12でも図11と同様に1周期目と2周期目、及びそれ以降の周期が全く同じ電流条件となっているが、周期毎に電流条件(電流密度の大きさや電流時間など)を変えてもかまわない。これによってFe組成比の変動幅が途中から変わったり、あるいはFe組成比の一周期の長さが途中で変化する軟磁性膜を製造できる。

【0178】また図12では、最初、低い電流密度 i_3 の直流電流を流し、次に高い電流密度 i_4 の直流電流を流しているが、逆に、最初に高い電流密度 i_4 の直流電流を流した後、次に低い電流密度 i_3 の直流電流を流し、これを周期的に繰返してもよいことは言うまでもない。

【0179】なお図11に示すパルス電流を用いた電気メッキ法はNiFe系合金の軟磁性膜のメッキ成膜に使用するのが望ましく、図12に示す直流電流を用いた電気メッキ法はCoFe系合金、CoFeNi系合金からなる軟磁性膜のメッキ形成に使用することが好ましい。

【0180】次に本発明では、前記軟磁性膜をNiFe系合金で形成することが好ましく、このとき前記Fe組成比の平均値を65質量%以上で85質量%以下で形成することが好ましい。

【0181】Fe組成比の平均値を向上させるにはメッキ浴組成のNiイオン濃度を低下させることが好ましい。

【0182】これにより成膜時、カソード（メッキされる側）表面上に触れるメッキ液中のNiイオンを減らすことができ、攪拌効果を高めてNiFe合金中に多くのFeを入れることが可能になる。

【0183】本発明では、例えばメッキ浴中におけるNiイオン濃度を6.6g/l以上で40g/l以下とし、且つFeイオン濃度/Niイオン濃度の比率を0.15以上で0.80以下とする。これにより上記したFe組成比の平均値を有するNiFe系合金からなる軟磁性膜をメッキ形成できる。

【0184】また本発明では前記軟磁性膜をCoFe系合金で形成し、このとき前記軟磁性膜のFe組成比の平均値を、60質量%以上で80質量%以下で形成することが好ましい。

【0185】なお例えばメッキ浴組成の一例をあげると、Feイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.5以上で2.5以下に設定する。これによりCoFe合金のFe組成比の平均値を60質量%以上で80質量%以下に調整することが可能である。

【0186】また本発明では、前記軟磁性膜をCoFeNi系合金で形成し、このとき前記Co組成比の平均値aを、8質量%以上で48質量%以下で、Fe組成比の平均値bを、50質量%以上で90質量%以下で、Ni組成比の平均値cを、2質量%以上で20質量%以下で形成し、各平均値を足し合わせたa+b+cを100質量%とすることが好ましい。

【0187】例えばメッキ浴組成の一例をあげると、メッキ浴中のFeイオン濃度/Coイオン濃度を1.5以上とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を2以上で4以下とする。これにより上記した組成比の平均値を有するCoFeNi合金をメッキ形成することができる。

【0188】また本発明では、軟磁性膜のメッキ浴中にサッカリンナトリウム($C_6H_4CONNaSO_2$)を混入することが好ましい。前記サッカリンナトリウムは応力緩和剤の役割を持っており、メッキ形成された軟磁性膜の膜応力を低減させることが可能になる。

【0189】また軟磁性膜のメッキ浴中に、2-ブチン-1,4ジオールを混入することが好ましい。これにより前記NiFe合金の結晶粒径の粗大化を抑制しさらに保磁力Hcを低減させることができる。

【0190】また本発明では、前記軟磁性膜のメッキ浴中に2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを混入することが好ましい。

【0191】前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムは界面活性剤である。前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムの混入によって、軟磁性膜のメッキ形成時に発生する水素を除去でき、メッキ膜に前記水素が付着すること

を防止することができる。前記メッキ膜に水素が付着すると、結晶が緻密に形成されずその結果、膜面の面粗れをひどくする原因となるため、本発明のように前記水素を除去することで、前記メッキ膜の膜面の面粗れを小さくでき、さらに保磁力Hcを小さくすることが可能である。

【0192】なお前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに代えてラウリル硫酸ナトリウムを混入してもよいが、前記ラウリル硫酸ナトリウムは、前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに比べてメッキ浴中に入れたとき泡立ちやすいために、前記ラウリル硫酸ナトリウムを効果的に水素を除去できる程度に混入することが難しい。このため本発明では、前記ラウリル硫酸ナトリウムに比べて泡立ちにくい2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを水素を効果的に除去できる程度に混入することが好ましい。

【0193】また前記メッキ浴中にホウ酸を混入することが好ましい。ホウ酸は、電極表面のpH緩衝剤となり、またメッキ膜の光沢を出すのに効果的である。

【0194】また本発明では、前記軟磁性膜の結晶粒径を5nm以上で20nm以下で形成することが好ましい。これによりさらなる保磁力の低減を図ることができる。

【0195】また本発明では、前記軟磁性膜の少なくとも一部に、体心立方構造と面心立方構造との混在領域が存在するように、前記軟磁性膜の組成比や電気メッキの際の電流密度を調整することが好ましい。図4（メッキ浴中にサッカリンナトリウムを含まない場合）、および図5（メッキ浴中にサッカリンナトリウムを含む場合）で説明したように、図4及び図5の三元図の「bcc+fcc」線上、あるいは「bcc+fcc」領域内に、Fe、Co、Niの組成比が当てはまるように、メッキ浴組成や電気メッキの際の電流密度を調整する。軟磁性膜中に体心立方構造及び面心立方構造の混在領域が含まれることで、軟磁性膜全体の保磁力Hcのさらなる低減を図ることが可能である。

【0196】そして上記した方法を用いて電気メッキ法により図1、2に示す磁極層19、21あるいはコア層16、22、図6、7に示す磁極層32、34あるいはコア層16、40、図8に示すコア層16、46、図9に示す高Bs層47あるいは下部コア層16、および図10に示す下部磁極層50、上部コア層55、下部コア層16をメッキ形成すると、各薄膜磁気ヘッドが完成する。

【0197】なお本発明における軟磁性膜は、ハードディスク装置に内蔵される記録用の薄膜磁気ヘッド（インダクティブヘッド）のコア層や磁極層の他、インダクタ等の種々の磁気素子に使用することもできる。

【0198】

【実施例】本発明では、基板上にNiFe系合金膜をバ

ルス電流を用いた電気メッキ法にてメッキ形成し、前記NiFe系合金膜の膜厚と前記膜中に含まれるFe組成比との関係について調べた。

【0199】実験では4つの試料①～④を用意した。4つの試料をメッキ形成する際のメッキ浴組成は以下の通りである。

Feイオン 5 (g/l)

Niイオン 10 (g/l)

ほう酸 25 (g/l)

塩化ナトリウム 25 (g/l)

【0200】またメッキ浴濃度を30℃に設定した。また電極のpHを3.5に設定した。またアノード側の電極にはNi電極を用いた。

【0201】試料①を、上記のメッキ浴から、図11に示すパルス電流のタイミング図において、 $i_1 = 5 \text{ mA/cm}^2$ 、 $i_2 = 20 \text{ mA/cm}^2$ 、 $T_1 = 40 \text{ 秒}$ 、 $T_2 = 5 \text{ 秒}$ となるパルス電流を用いてメッキ形成した。

【0202】試料②を、上記のメッキ浴から、図11に示すパルス電流のタイミング図において、 $i_1 = 5 \text{ mA/cm}^2$ 、 $i_2 = 20 \text{ mA/cm}^2$ 、 $T_1 = 80 \text{ 秒}$ 、 $T_2 = 10 \text{ 秒}$ となるパルス電流を用いてメッキ形成した。

【0203】試料③を、上記のメッキ浴から、図11に示すパルス電流のタイミング図において、 $i_1 = 5 \text{ mA/cm}^2$ 、 $i_2 = 20 \text{ mA/cm}^2$ 、 $T_1 = 160 \text{ 秒}$ 、 $T_2 = 20 \text{ 秒}$ となるパルス電流を用いてメッキ形成した。

【0204】試料④を、上記のメッキ浴から、パルス電流の電流密度が 20 mA/cm^2 となる一定の電流密度を有するパルス電流を用いてメッキ形成した。

【0205】図13は、上記した試料①におけるNiFe系合金膜の膜厚と膜中に占めるFe組成比との関係を示すグラフである。なおFe組成比の測定は、TEM付属のEDS分析で、膜厚については透過電子顕微鏡(TEM)を用いて測定した。なおTEMには日本電子製JEM2010Fを、EDS(X線分析法)にはノーラン社製VANTAGEを用いた。

【0206】図13に示す「成膜100nm」のグラフには、メッキ形成された膜の途中から表面に向けて100nmまでの膜厚中に占めるFe組成比の変動が示されている。なお「成膜100nm」のグラフの意味は図14ないし図16全て同じである。

【0207】図13に示すように、膜中に占めるFe組成比は膜厚方向にうねりながら変化しており、ほぼ周期的に変動していることがわかる。一周期の長さも1は概ね18nm程度であった。またFe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差は、グラフで4～6質量%程度であった。

【0208】次に図14は上記した試料②におけるNiFe系合金膜の膜厚と膜中に占めるFe組成比との関係を示すグラフである。

【0209】図14も図13と同様に、膜中に占めるF

e組成比は膜厚方向にうねりながら変化しており、ほぼ周期的に変動していることがわかる。一周期の長さも1は概ね36nm程度であった。またFe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差は、26～28質量%程度であった。

【0210】次に図15は上記した試料③におけるNiFe系合金膜の膜厚と膜中に占めるFe組成比との関係を示すグラフである。

【0211】図15も図13、図14と同様に、膜中に占めるFe組成比は膜厚方向にうねりながら変化しており、ほぼ周期的に変動していることがわかる。一周期の長さも1は概ね72nm程度であった。またFe組成比が最も多い部分と最も少ない部分とでFe組成比の差は、30～31質量%程度であった。

【0212】以上、試料①～③では、いずれもFe組成比が膜厚方向に変動し、しかもFe組成比は膜厚方向に周期的に変動していることがわかった。

【0213】一方、図16は試料④におけるNiFe系合金膜の膜厚と膜中に占めるFe組成比との関係を示すグラフであるが、図16では、Fe組成比は膜厚方向にほとんど変動していないことがわかった。すなわちFe組成比は膜厚方向にほぼ一定となっている。Fe組成比の膜厚方向への変動差はわずか1～2質量%程度である。

【0214】上記した試料①～③のように、Fe組成比を膜厚方向に変動させると、これによりNiFe系合金膜の保磁力Hcを、変動させない場合に比べて低減させることが可能になる。

【0215】図17は、Fe組成比の変動周期と保磁力Hcとの関係を示すグラフである。図17に示すように、Fe組成比が膜厚方向に周期的に変動している試料①ないし③のNiFe系合金膜では、いずれも保持力Hcが、 $79 (\text{A/m}) = 1 (\text{Oe})$ を下回っているのに対し、Fe組成比が膜厚方向にほとんど変動しない試料④のNiFe系合金膜では、保磁力Hcが、 $79 (\text{A/m})$ を上回り、試料①ないし③に比べてかなり保磁力Hcが高いことがわかった。

【0216】また試料①ないし③はいずれもFe組成比の最も多い部分と少ない部分との差が4質量%以上であり、従って本発明では変動差を少なくとも4質量%以上とした。また本発明では、前記変動差がさらに大きいことが好ましく、特に試料②③ではいずれも変動差が10質量%以上となっており、いずれも試料④に比べて小さい保磁力Hcを得ることができた。

【0217】また試料⑤は、一周期の長さが約10nmであり、保持力Hcが、 $79 (\text{A/m}) = 1 (\text{Oe})$ を下回っていることがわかった。

【0218】よってFe組成比の膜厚方向への変動における一周期の長さは、10nm以上であることが好ましいとした。試料①ないし③、⑤はいずれも一周期の長さ

が10 nm以上である。なおより好ましくは18 nm以上である。試料①の実験結果に基づくものである。また一周期の長さは150 nm以下であることが好ましいとした。図17に示すように、一周期の長さが長くなるほど、結晶粒径が微細化しにくくなり保磁力 H_c が大きくなるからである。なおより好ましくは100 nm以下とした。100 nm以下であれば、図17に示すように保磁力 H_c を約79 (A/m) = 1 Oe以下にすることができからである。さらに好ましくは72 nm以下である。これは試料③の実験結果に基づくものである。

【0219】次に、NiFe系合金膜中に占めるFe組成比の平均値と磁気特性との関係について調べた。

【0220】図18は、NiFe合金膜中に占めるFe組成比と飽和磁束密度との関係を示すグラフである。図18における「DC」なるグラフは、前記NiFe合金膜を一定の直流電流で電気メッキした場合の実験結果である。また図18における「Pulse」なるグラフは、前記NiFe合金膜を一定の電流密度を有するパルス電流で電気メッキした場合の実験結果である。「DC」及び「Pulse」なるグラフはいずれも比較例である。

【0221】図18における「組成変動」のグラフは、上記した試料①ないし③と同じようにFe組成比が膜厚方向に変動し、しかも前記Fe組成比が膜厚方向に周期的に変動しているNiFe系合金膜の実験結果であり、このグラフが本発明における実施例である。なお「組成変動」のグラフのFe組成比は、平均値である。なおこのNiFe系合金は図11に示すタイミング図によるパルス電流を用いてメッキ形成した。

【0222】図18に示すように、Fe組成比が大きくなるほど飽和磁束密度 B_s が大きくなることがわかった。図18に示すように、「組成変動」のグラフでは、Fe組成比の平均値を約73質量%以上にするると飽和磁束密度 B_s が1.9 T程度にまで上昇し、「DC」のグラフの飽和磁束密度よりも高い飽和磁束密度を得ることができることがわかった。

【0223】このように図18の「組成変動」のグラフに示すように、Fe組成比が膜厚方向に変動していても、Fe組成比の平均値を大きくできれば、飽和磁束密度 B_s を大きくできることがわかった。また「組成変動」のNiFe系合金では、85質量%程度にまでFe組成比の平均値を大きくできることがわかった。また、図18に示すように、Fe組成比の平均値が65質量%以上であると1.8 T以上の飽和磁束密度 B_s が得られることがわかった。またFe組成比の平均値が75質量%以上に多くなると、飽和磁束密度 B_s は1.9 T以上、あるいは1.95 T以上となることがわかった。

【0224】図19は、NiFe系合金膜中に占めるFe組成比と保磁力 H_c との関係について調べた実験結果である。図19に示す「DC」「Pulse」「組成変動」

のグラフの意味は図18で説明した通りである。

【0225】図19に示すように、「DC」「Pulse」のグラフでは、Fe組成比が65質量%以上になると、保磁力が79 (A/m) = 1 (Oe) を越えるか、あるいは79 (A/m) にかかなり近づくことがわかる。

【0226】これに対し、「組成変動」のグラフでは、膜中に占めるFe組成比の平均値が80質量%を越えても、保磁力が79 (A/m) = 1 (Oe) を大きく下回り、「DC」「Pulse」の場合に比べて、Fe組成比の平均値が大きくなっても、より適切に保磁力 H_c の低減を図ることができるとわかった。

【0227】図18及び図19の実験結果から、Fe組成比が膜厚方向に変動し、さらにFe組成比が膜厚方向に周期的に変動する軟磁性膜であれば、Fe組成比の平均値を大きくすることで飽和磁束密度 B_s を大きくできると同時に、Fe組成比の平均値が大きくなっても保磁力 H_c を従来に比べて十分に小さくすることができるとわかった。

【0228】図20は、NiFe系合金膜中に占めるFe組成比と異方性磁界 H_k との関係について調べた実験結果である。なお図20に示す「DC」「Pulse」「組成変動」のグラフの意味は図18で説明した通りである。

【0229】図20に示すように、「組成変動」のグラフでは、「DC」「Pulse」のグラフに比べて、Fe組成比が大きくなっても、大きな異方性磁界 H_k を得られることができるとわかった。

【0230】次に、上記した試料②、試料③及び試料④を用いて、NiFe系合金からなる各試料の膜厚方向への断面の膜状態を透過電子顕微鏡で観察した。

【0231】図21は、試料③ (Fe組成比の変動周期が約72 nm) のNiFe系合金の膜厚方向への断面の膜状態を示す透過電子顕微鏡写真 (TEM写真) であり、図22が、図21に示す透過電子顕微鏡写真の部分拡大模式図である。

【0232】図21及び図22に示すように、試料③のNiFe系合金では、基板表面とほぼ平行な方向に延びる色の濃い層域と色の薄い層域とが交互に積層された膜状態となっていることがわかった。色の濃い層域は、色の薄い層域に比べてFe組成比が低くなっていた。すなわち換言すれば、試料③のNiFe系合金は、透過電子顕微鏡写真で観測すると、Fe組成比が高い層と低い層とが膜厚方向に交互に積層された膜状態となっているのである。また図21に示す写真には、大きな結晶粒が見られなかった。

【0233】図23は、試料② (Fe組成比の変動周期は約36 nm) のNiFe系合金の膜厚方向への断面の状態を示す透過電子顕微鏡写真 (TEM写真) であり、図24が、図23に示す透過電子顕微鏡写真の部分拡大模式図である。

【0234】図21、図22の試料③の場合に比べて若干見え難いが、図23及び図24の試料②のNiFe系合金においても、基板表面とほぼ平行な方向に延びる色の濃い層域と色の薄い層域とが交互に積層された膜状態となっていることがわかった。また、図23及び図24には、大きな結晶粒は見られなかった。

【0235】なお図23及び図24において、色の濃い層域と色の薄い層域との間隔が、図21及び図22に比べて狭いのは、試料③のNiFe系合金のFe組成比の変動周期が約72nmであるのに対し、試料②のNiFe系合金のFe組成比の変動周期は約36nmと短いからであると考えられる。

【0236】以上、試料②及び試料③のように、Fe組成比が膜厚方向に変動し、さらにFe組成比が膜厚方向に周期的に変動する軟磁性膜を透過電子顕微鏡写真で見ると、Fe組成比が高い層と低い層とが交互に積層された膜状態が観測できることがわかった。

【0237】図25は、試料④のNiFe系合金の膜厚方向への断面の状態を示す透過電子顕微鏡写真(TEM写真)であり、図26が、図25に示す透過電子顕微鏡写真の部分拡大模式図である。

【0238】試料④のNiFe系合金、すなわちFe組成比が膜厚方向にほとんど変動せず、ほぼ一定であるNiFe系合金では、図25及び図26に示すように、試料②及び③のような色の濃い層域と色の薄い層域とが交互に積層された膜状態は見られなかった。ところが試料④のNiFe系合金では、図25及び図26に示すように、基板上から膜厚方向に結晶組織(柱状組織)が延び、基板上からNiFe系合金の表面にまで到達するほどの非常に巨大な結晶組織が形成されており、内部の結晶粒も試料②③に比べて大きいことがわかった。またこのような巨大な結晶組織が成長していることで、試料④のNiFe系合金の表面は、試料②及び試料③のNiFe系合金の表面(図21ないし図24を参照されたい)に比べてうねりが激しいことがわかった。

【0239】このように試料②及び③のNiFe系合金は、試料④のNiFe系合金に比べて結晶粒径が小さいことがわかった。試料②及び試料③のNiFe系合金において結晶粒径が小さくなるのは、Fe組成比が膜厚方向に変動し、さらに膜厚方向に周期的に変動しているからである。

【0240】次にXRD(X線回折装置)により求めた結晶粒径と保磁力との関係について調べた。その実験結果を図27に示す。図27に示す、結晶粒径が200Åを越え、保磁力Hcが、約316(A/m)=4(Oe)を越える点は、試料④と同様にFe含有量が膜厚方向に変動せず、ほぼ一定値であるNiFe系合金の実験結果であり、残りの4点が、試料①ないし③と同様に、Fe組成比が膜厚方向に変動し、さらに膜厚方向に周期的に変動するNiFe系合金の実験結果である。

【0241】図27に示すように、結晶粒径が大きくなると、保磁力Hcが増大することがわかる。

【0242】この図27に示す実験結果から、200Å以下の結晶粒径を好ましい範囲とした。これにより前記保磁力Hcを約79(A/m)=1(Oe)以下に抑えることが可能になる。

【0243】

【発明の効果】以上詳述した本発明では、Feと前記Fe以外の磁性元素を含有する軟磁性膜において、少なくとも一部の領域には、Feの組成比が膜厚方向に変動する変動領域が設けられており、前記変動領域では、Fe組成比が最も多い部分とFe組成比が最も少ない部分とでFe組成比の差が4質量%以上となっている。

【0244】さらには、前記Fe組成比は膜厚方向に周期的に変動し、一周期の長さが10nm以上で150nm以下であることが好ましい。

【0245】上記の軟磁性膜によれば、前記Fe組成比の平均値を大きくすることで飽和磁束密度Bsを大きくできると同時に、前記Fe組成比の平均値を大きくしても、結晶粒径の微細化により保磁力Hcを従来より小さくすることができる。

【0246】従って上記した軟磁性膜を、例えばハードディスク装置に搭載される記録用の薄膜磁気ヘッド(インダクティブヘッド)のコア材、磁極材として使用することで、今後の高記録密度化に適切に対応することができる、記録特性に優れた薄膜磁気ヘッドを製造することが可能になっている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、

【図2】図1の部分縦断面図、

【図3】図1に示す上部磁極層21中に含有されたFe組成比の変動を説明するための部分模式図、

【図4】メッキ浴中にサッカリンナトリウムを含有させない場合の、組成比と結晶構造との関係を示すためのFe、Co及びNiの三元図、

【図5】メッキ浴中にサッカリンナトリウムを含有させた場合の、組成比と結晶構造との関係を示すためのFe、Co及びNiの三元図、

【図6】本発明の第2実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、

【図7】図6の部分縦断面図、

【図8】本発明の第3実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図9】本発明の第4実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図10】本発明の第5実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図11】本発明の軟磁性膜をパルス電流による電気メッキ法でメッキ形成する際の、前記パルス電流のタイミ

ング図、

【図12】本発明の軟磁性膜を直流電流による電気メッキ法でメッキ形成する際の、前記直流電流のタイミング図、

【図13】NiFe系合金膜のFe組成比を膜厚方向に周期的に変動させ、このとき一周期の長さを約18nmとした場合（試料①）の、前記NiFe系合金膜の膜厚と膜中に占めるFe組成比との関係を示すグラフ、

【図14】NiFe系合金膜のFe組成比を膜厚方向に周期的に変動させ、このとき一周期の長さを約36nmとした場合（試料②）の、前記NiFe系合金膜の膜厚と膜中に占めるFe組成比との関係を示すグラフ、

【図15】NiFe系合金膜のFe組成比を膜厚方向に周期的に変動させ、このとき一周期の長さを約72nmとした場合（試料③）の、前記NiFe系合金膜の膜厚と膜中に占めるFe組成比との関係を示すグラフ、

【図16】NiFe系合金膜のFe組成比を膜厚方向にほぼ一定に調整した場合（試料④）の、前記NiFe系合金膜の膜厚と膜中に占めるFe組成比との関係を示すグラフ、

【図17】試料①～④のNiFe系合金のFe組成比の変調周期と保磁力 H_c との関係を示すグラフ、

【図18】NiFe系合金を、一定の電流密度を有する直流電流、一定の電流密度を有するパルス電流、および電流密度を周期的に変動させたパルス電流によってメッキ形成した場合の、Fe組成比と飽和磁束密度 B_s との関係を示すグラフ、

【図19】NiFe系合金を、一定の電流密度を有する直流電流、一定の電流密度を有するパルス電流、および電流密度を周期的に変動させたパルス電流によってメ

ッキ形成した場合の、Fe組成比と保磁力 H_c との関係を示すグラフ、

【図20】NiFe系合金を、一定の電流密度を有する直流電流、一定の電流密度を有するパルス電流、および電流密度を周期的に変動させたパルス電流によってメッキ形成した場合の、Fe組成比と異方性磁界 H_k との関係を示すグラフ、

【図21】試料③のNiFe系合金の膜厚方向に対する断面の膜状態を示す透過電子顕微鏡写真、

【図22】図21の膜状態を図示した部分拡大模式図、

【図23】試料②のNiFe系合金の膜厚方向に対する断面の膜状態を示す透過電子顕微鏡写真、

【図24】図23の膜状態を図示した部分拡大模式図、

【図25】試料④のNiFe系合金の膜厚方向に対する断面の膜状態を示す透過電子顕微鏡写真、

【図26】図25の膜状態を図示した部分拡大模式図、

【図27】NiFe合金中における結晶粒径と保磁力 H_c との関係を示すグラフ、

【符号の説明】

- 11 スライダ
- 10 磁気抵抗効果素子
- 16 下部コア層（上部シールド層）
- 18、30 磁極部
- 19、32、50 下部磁極層
- 20、33 ギャップ層
- 21、34 上部磁極層
- 22、40、46、55 上部コア層
- 41 磁気ギャップ層
- 47 高 B_s 層
- 48 上層

【図1】

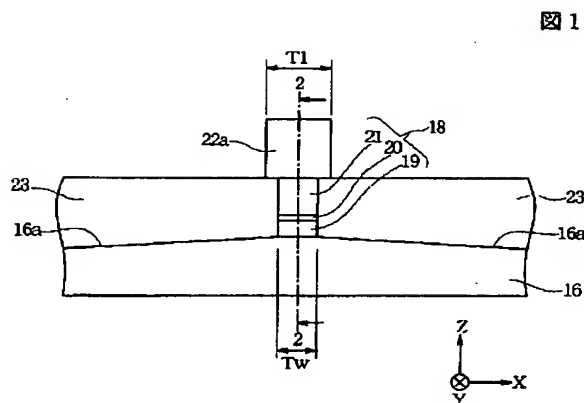


図1

【図2】

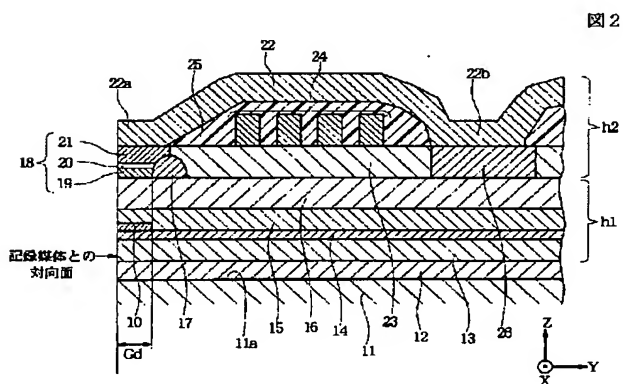
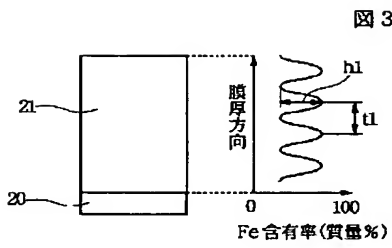
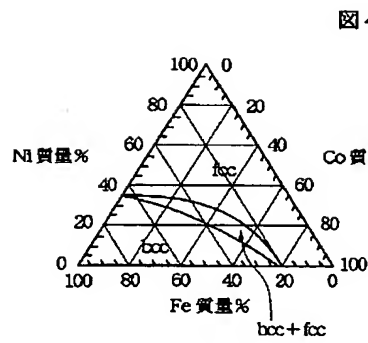


図2

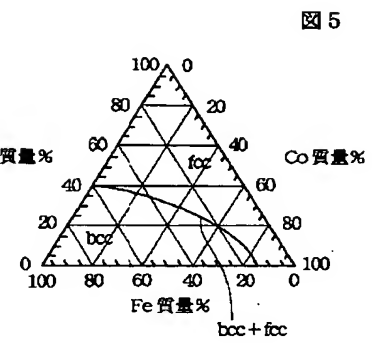
【図3】



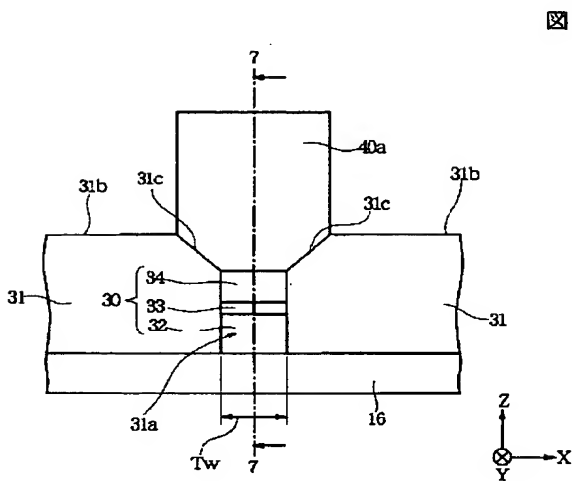
【図4】



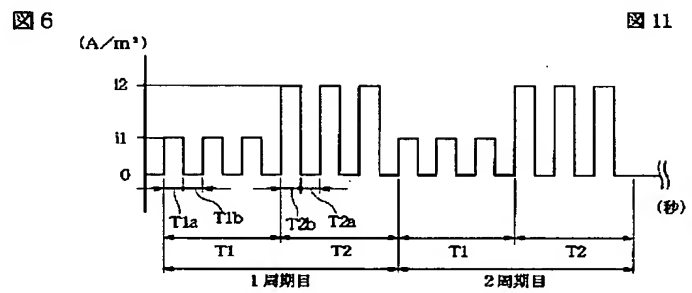
【図5】



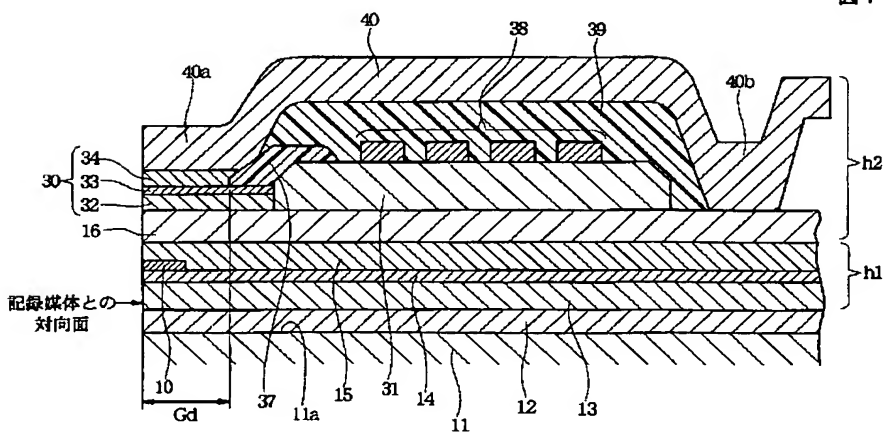
【図6】



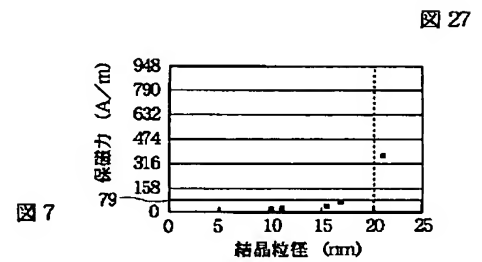
【図11】



【図7】



【図27】



【図8】

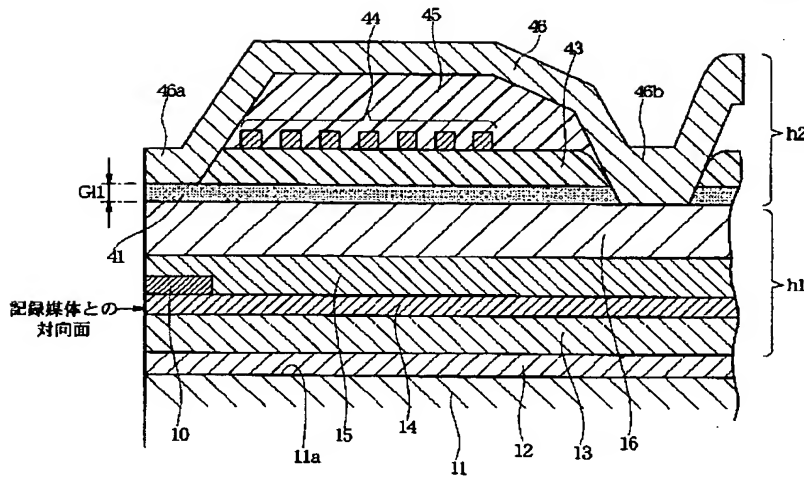


図 8

【図9】

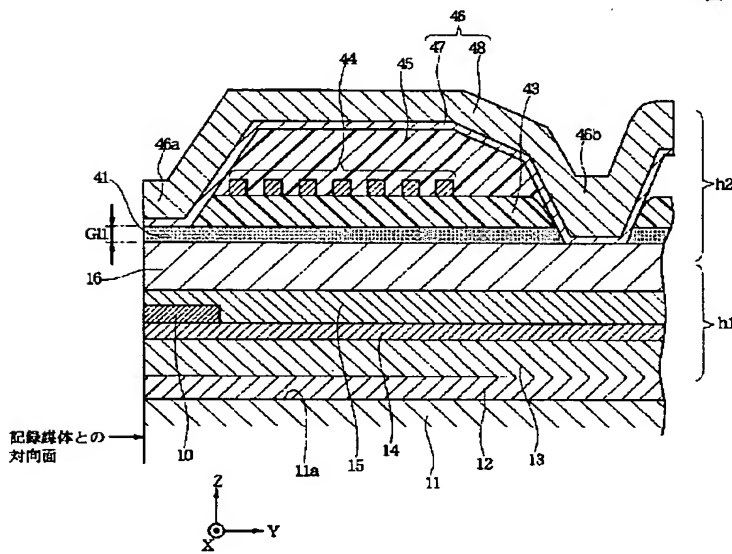


図 9

【図13】

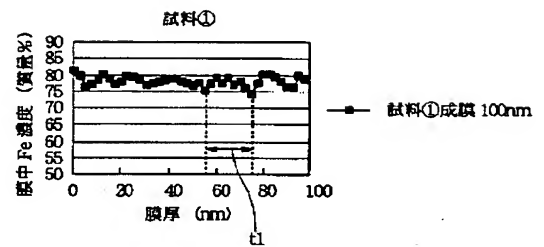


図 13

【図12】

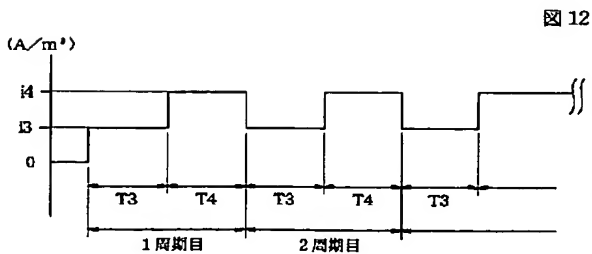


図 12

【図14】

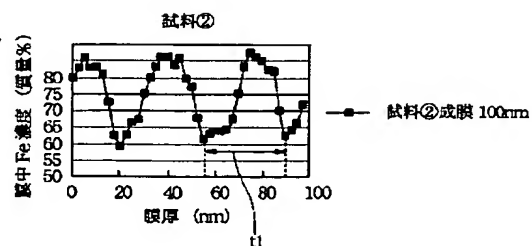


図 14

【図10】

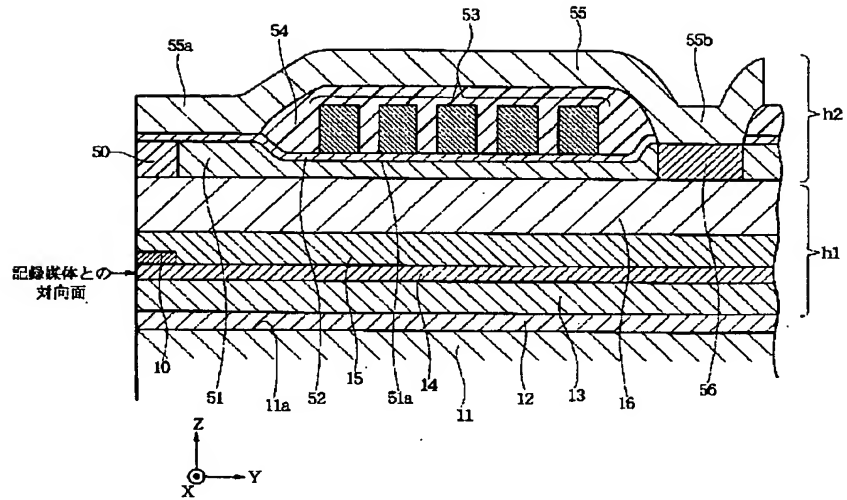


図 10

【図15】

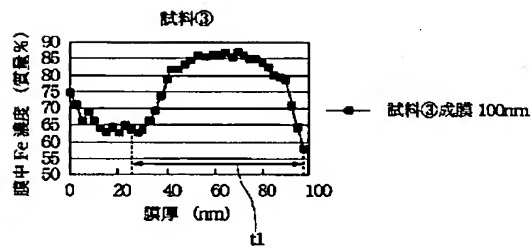


図 15

【図16】

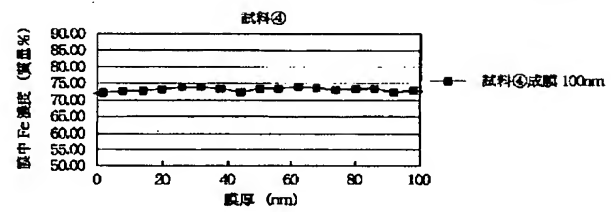


図 16

【図18】

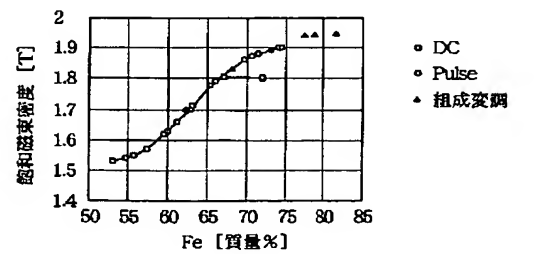


図 18

【図17】

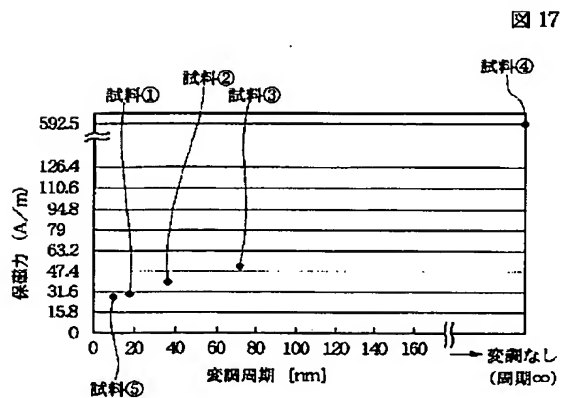
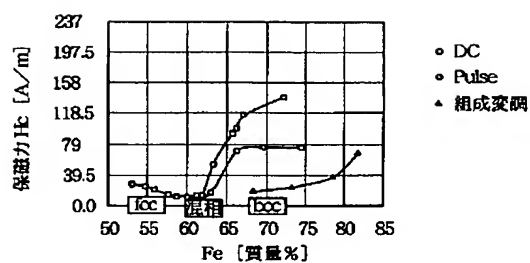
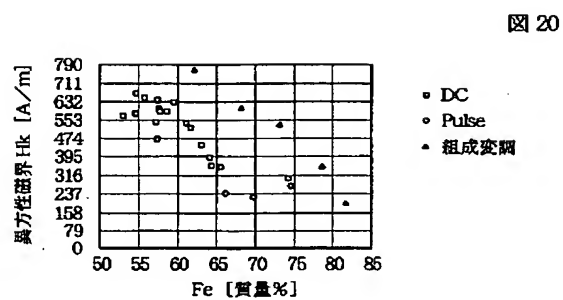


図 17

【図19】



【図20】



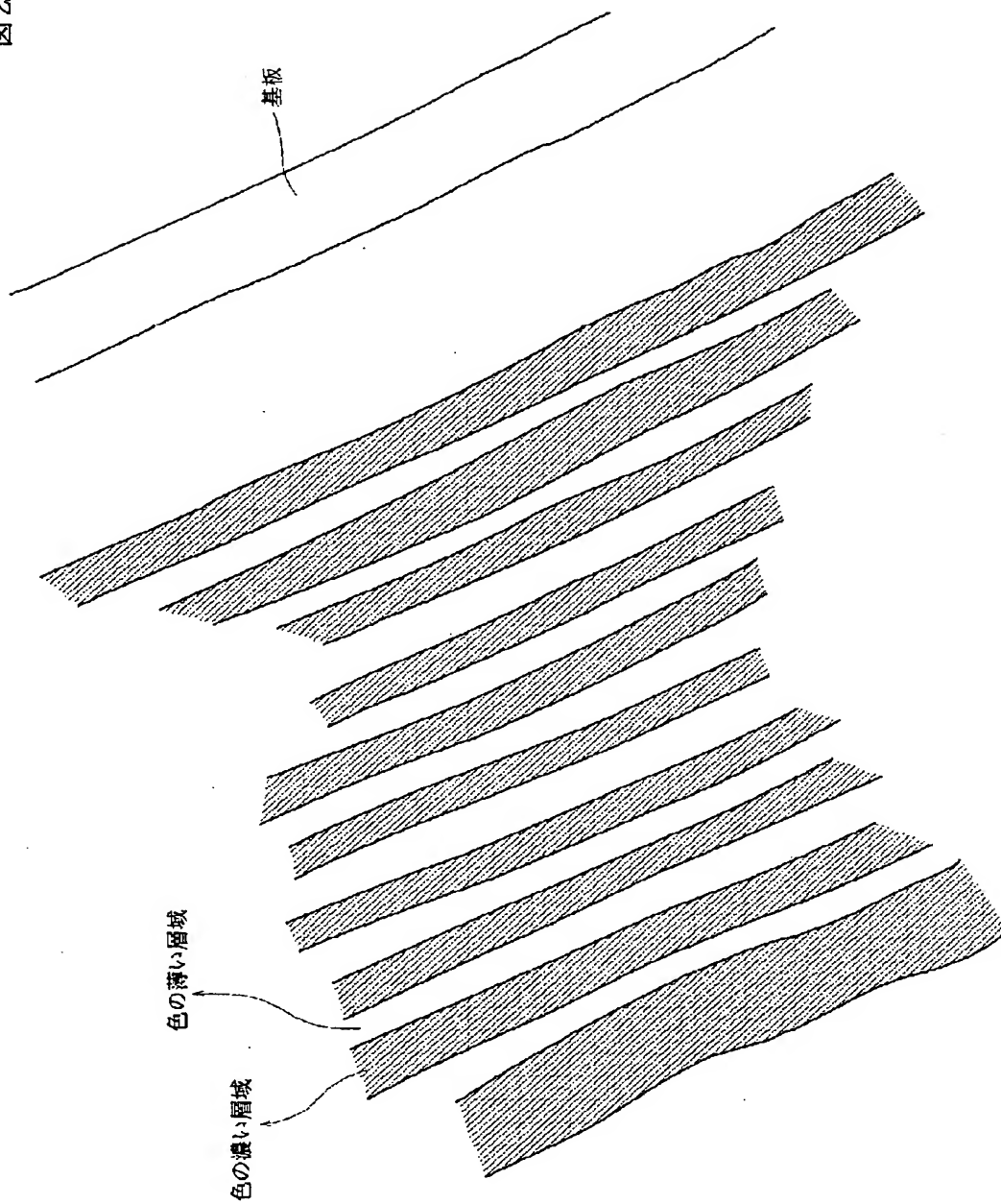
【図21】

図 21



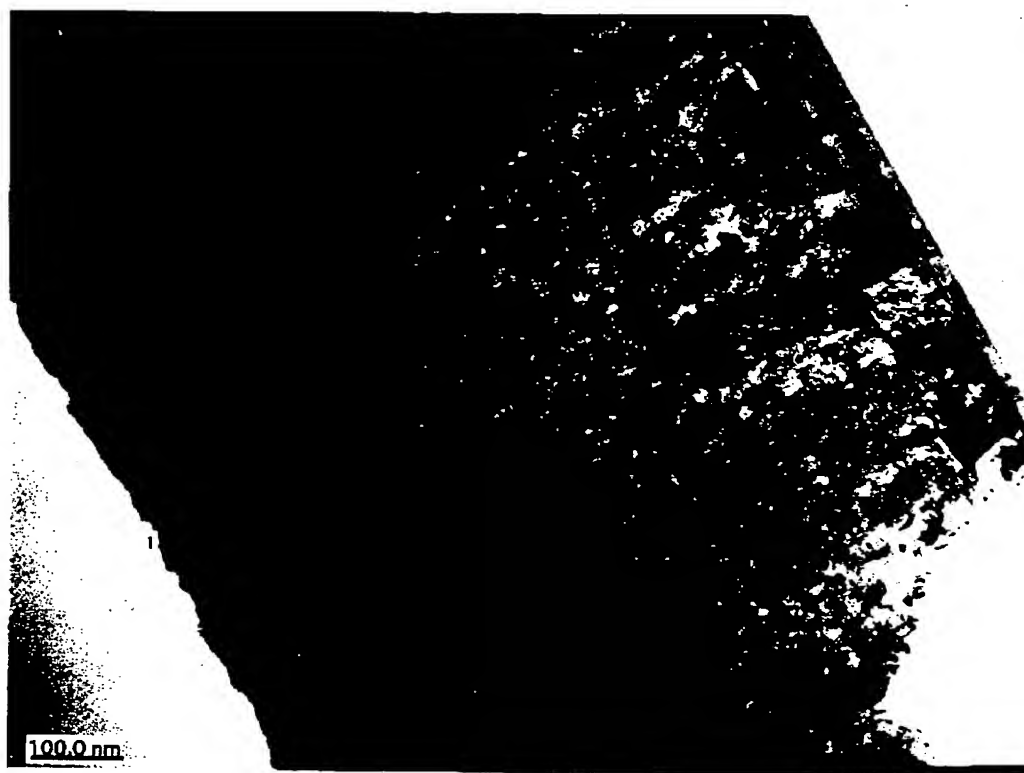
【図22】

図 22



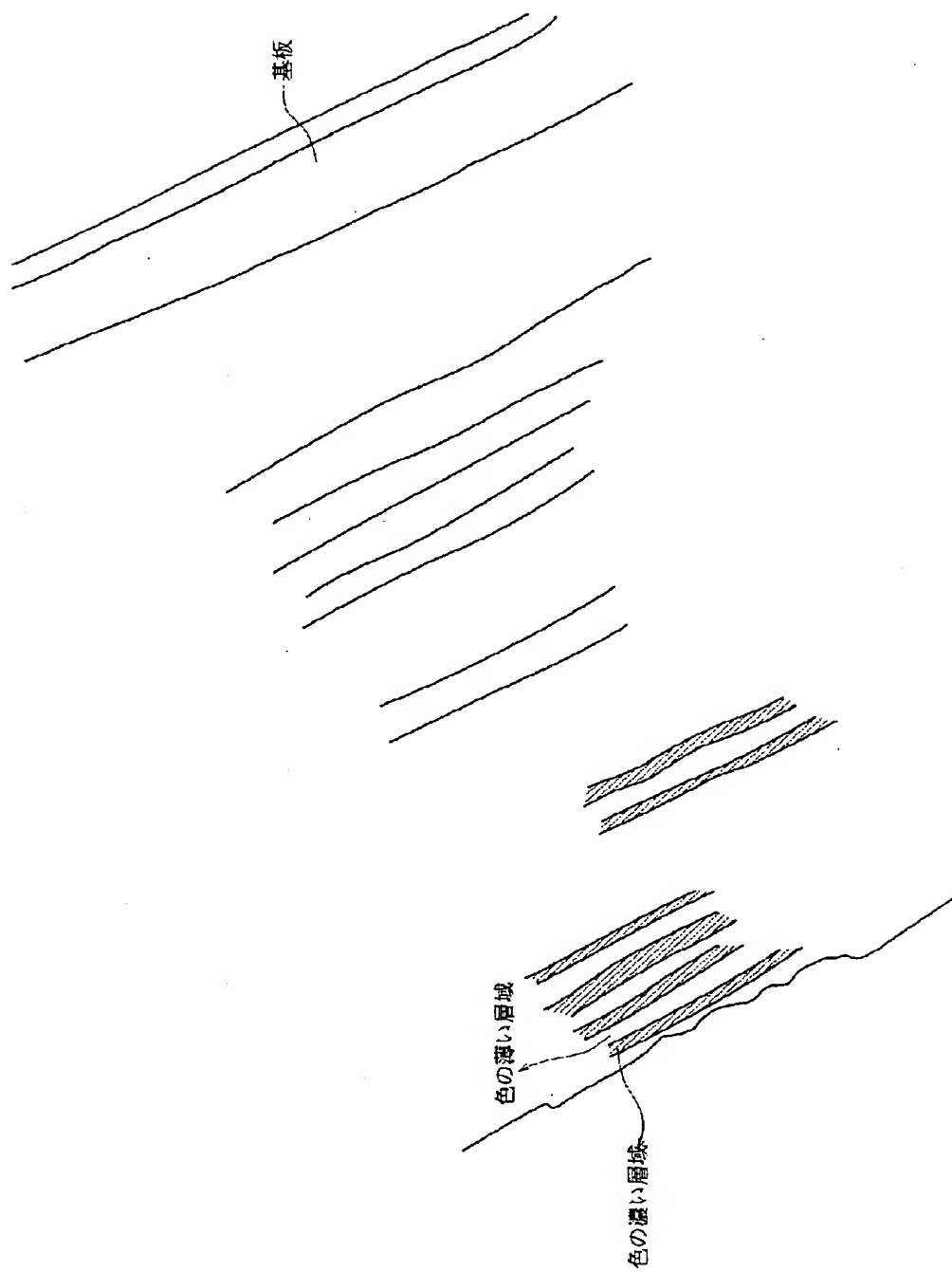
【図23】

図 23



【図24】

図 24



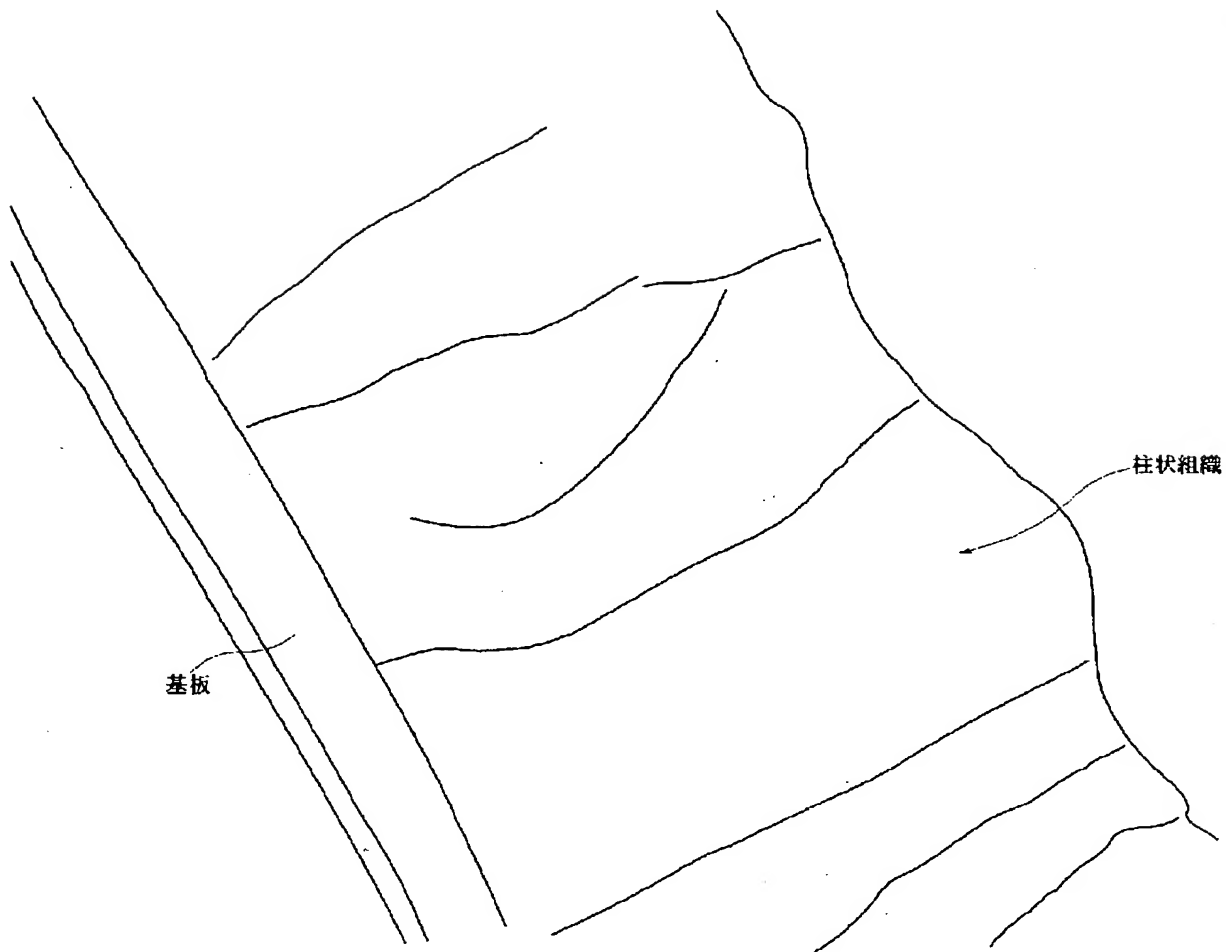
【図25】

図 25



【図26】

図 26



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターム(参考)
G 1 1 B	5/31	H 0 1 F	41/26
H 0 1 F	41/26	H 0 1 L	43/02
H 0 1 L	43/02		43/08
	43/08	G 0 1 R	33/06
			Z
			Z
			R

F ターム(参考) 2G017 AD55 AD63 AD65
 4K024 AA03 AA04 AA15 AA16 AB01
 BA02 BB14 BC10 CA06 CA07
 GA16
 5D033 BA03 CA01 DA04 DA31
 5E049 AA01 AA04 AA07 AC05 BA12
 CB01 DB12 LC01